



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2007**

**MIROSLAV HEVERA, DiS.**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Obor: 23 – 07 – 8

strojírenská technologie

Zaměření

materiálové inženýrství

**Porovnání materiálových vlastností ocelí  
používaných pro nožířské účely**

**Comparison of material characteristics of steel used  
for cutlery purposes**

číslo práce: KMT – 221

Miroslav Hevera, DiS.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.,  
TU Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 63

Počet tabulek: 19

Počet příloh: 8

Počet obrázků: 62

V Liberci, dne: 24.5.2007



## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení	<b>Miroslav H E V E R A</b>
studijní program	<b>M 2301 Strojní inženýrství</b>
obor	<b>2303 T 002 Strojírenská technologie</b>
zaměření	<b>Materiálové inženýrství</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Porovnání materiálových vlastností ocelí používaných pro nožířské účely**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle magisterské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s požadavky na nástrojové oceli pro nožířské účely a vyberte nejméně 5 typů nejpoužívanějších ocelí
2. Na vzorcích těchto ocelí proveďte základní mechanické i technologické zkoušky a pokuste se stanovit komplexní kritérium pro jejich vzájemné srovnání
3. Na základě provedených experimentů stanovte vhodnost těchto ocelí i z hlediska ceny a dostupnosti těchto ocelí

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 40 - 50 stran
- přílohy

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

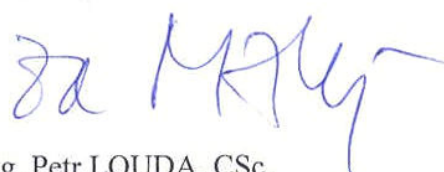
- [1] RYŠ, J. a kol.: Nauka o materiálu I/4, Academia Praha, 1975
- [2] HRIVNÁK, I.: Užitékové vlastnosti a volba materiálu, STU Bratislava, 1999
- [3] FREMUNT, P., KREJČÍK, J. PODRÁBSKÝ, T.: Nástrojové oceli, Dům techniky Brno, 1994

Vedoucí diplomové práce:  
Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Karel Dad'ourek, CSc.



  
prof. RNDr. Petr ŠPATENKA, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.  
děkan

V Liberci dne 31.03. 2006

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.





**Technická univerzita Liberec**

**Katedra materiálu**

Hálkova 6

461 17 Liberec

## **A n o t a c e**

- Jméno:** Miroslav Hevera, DiS.
- Obor:** 2303 T 002 Strojírenská technologie
- Zaměření:** Materiálové inženýrství
- Zadání práce:** **Porovnání materiálových vlastností ocelí používaných pro nožírské účely**
- Číslo práce:** KMT – 221
- Vedoucí práce:** doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.
- Klíčová slova:** **nástrojové oceli**  
**nožírství**  
**mechanické zkoušky nástrojových ocelí**  
**porovnání vlastností ocelí**

Práce se zabývá problematikou využití nástrojových ocelí pro výrobu čepelí na nože a porovnáním vlastností vybraných typů ocelí. Jako podnět pro tuto práci je fakt, že neexistují standardní měření a postupy, podle kterých by se dala posuzovat kvalita čepelí nožů. Pro tuto práci byly vybrány nástrojové oceli, protože mají asi nejvhodnější mechanické vlastnosti pro výrobu čepelí a řezných nástrojů vůbec.

Cílem této práce je pokusit se stanovit komplexní kritérium pro vzájemné srovnání zkoušených ocelí, popř. vybrat vhodné zkoušky pro toto srovnání.

Teoretická část je rozdělena na tři části. První část se zabývá charakteristikou nástrojových ocelí, jejich rozdělením a použitím, druhá část je věnována tepelnému zpracování, vhodnému pro zpracování nožových čepelí a třetí část je věnována mechanickým zkouškám.

Experimentální část obsahuje přípravu vzorků, jejich zkoušení a posuzování mechanických vlastností jednotlivých ocelí. U zkušebních vzorků byla provedena zkouška tahem, rázem, byla měřena tvrdost a byla provedena zkouška řezivosti. Byly požity jak zkoušky standardní, tak zkoušky specifické pro měření čepelí nožů. Jednotlivé zkoušky byly vyhodnoceny, hodnoty zaneseny do tabulek a grafů a na závěr byly zvoleny metody, vhodné pro komplexní posouzení. Doplňujícím kritériem bylo posouzení dostupnosti ocelí a jejich cena.



**Technical University of Liberec**  
**Department of material science**

Hálkova 6  
461 17 Liberec

## **Annotation**

**Name:** Miroslav Hevera, DiS.

**Specialization:** 2303 T 002 Engineering Technology

**Focusing:** Material engineering

**Task definition:** **Comparison of material characteristics of steel used for cutlery purposes**

**Number of work:** KMT – 221

**Leader of work:** doc. Ing. Karel Dad'ourek, CSc.

**Key words:** **tool steels**  
**cutlery**  
**mechanical tests of tool steels**  
**comparison of characteristics of steel**

The work deals with a utilization of tool steels for the production of blades for knives and with a comparison of characteristics of selected types of steel. There exist no standard measures and processes to judge the quality of blades for the production of knives. This fact was the impulse for this work. Tool steels were chosen for this work. The reason is that they may possess the most suitable mechanical characteristics necessary for the production of blades and cutting instruments in general.

The aim of this work is to find a comprehensive criterion for mutual comparison of tested steels, possibly also to choose suitable tests for the comparison.

The theoretical part is divided into three sections. The first one deals with characteristics of tool steels, with their subdivision and utilization. The second section is devoted to the heat-treatment suitable for the processing of knife blades and the third one treats the mechanical tests.

The experimental part contains the preparation of samples, their testing and evaluation of mechanical characteristics of individual steels. The test samples have undergone the test by tension and impact. Further the temper has been measured and the test of cutting efficiency performed. Both standard and specific test of measuring knife blades have been realized. Particular test have been evaluated and the resulting values have been recorded into the tables and charts. Methods suitable for comprehensive evaluation have been chosen at the conclusion. The assessment of availability of steels and their prices has been chosen as a complementary criterion.

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. za odborný dohled a vedení při řešení dané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Odehnalové za cenné rady k vypracování DP, RNDr.Vodičkové a panu Vyvlečkovi za pomoc při provádění jednotlivých měření a zkoušek.

Moje poděkování patří i Ing.Hamplovi, Ing.Coufalovi, mistru kováři p.Římskému, p. Bližňákovi, p.Davidovi a p.Vondálovi za pomoc při přípravě zkušebních vzorků.

Děkuji také své manželce, která mě po celou dobu studia podporovala a vydržela s trpělivostí až do konce.

Bez těchto lidí by tato práce jen těžko vznikla, a proto jim patří mé srdečné díky.

Miroslav Hevera, DiS.

V Liberci, 24. května 2007

## Obsah

Seznam zkratek.....	10
1.Úvod .....	11
2.Teoretická část.....	12
2.1.Nástrojové oceli.....	12
2.1.1.Vlastnosti nástrojových ocelí .....	12
2.1.1.1.Pevnost .....	12
2.1.1.2. Plastické vlastnosti, houževnatost .....	13
2.1.1.3.Odolnost proti popuštění .....	13
2.1.1.4.Zakalitelnost .....	13
2.1.1.5.Řezivost a odolnost proti otěru .....	13
2.1.1.6.Ostatní požadavky .....	14
2.2.Tepelné zpracování nástrojových ocelí .....	19
2.2.1.Žíhání.....	19
2.2.2.Kalení .....	20
2.2.2.1.Ohřev .....	20
2.2.2.2.Ochlazování.....	22
2.2.3.Popouštění .....	26
2.3.Nástrojové oceli pro nožířské použití.....	27
2.3.1. Popis použitých ocelí.....	27
2.4. Návrh metodiky hodnocení ocelí.....	33
2.4.1. Zkouška tahem.....	33
2.4.2. Zkouška vrubové houževnatosti .....	35
2.4.3. Zkouška tvrdosti .....	36
2.4.4. Zkouška řezivosti a otupení.....	37
2.4.5. Metalografie .....	39
3. Experimentální část .....	40
3.1. Příprava vzorků .....	40
3.1.1. Vzorky pro zkoušku tahem.....	40
3.1.2. Vzorky pro zkoušku vrubové houževnatosti .....	40
3.1.3. Vzorky pro zkoušku řezivosti a otupení.....	40
3.1.4. Tepelné zpracování vzorků.....	41
3.1.5. Identifikace vzorků.....	42
3.2. Zkouška tahem.....	42
3.2.1. Výsledky zkoušky tahem.....	42
3.2.2. Zhodnocení .....	43
3.3. Zkouška vrubové houževnatosti .....	43

3.3.1. Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti .....	44
3.3.2. Zhodnocení .....	45
3.4. Zkouška tvrdosti .....	45
3.4.1. Výsledky zkoušky tvrdosti .....	46
3.4.2. Zhodnocení .....	46
3.5. Zkouška řezivosti a otupení .....	46
3.5.1. Výsledky zkoušky řezivosti a otupení .....	46
3.5.2. Zhodnocení .....	49
3.6. Metalografické hodnocení vzorků .....	50
3.6.1. Příprava a identifikace vzorků .....	50
3.6.2. Struktura materiálu po tváření za tepla .....	51
3.6.2.1. Zhodnocení .....	52
3.6.3. Struktura materiálu po tepelném zpracování .....	52
3.6.3.1. Zhodnocení .....	52
3.7. Mikrofraktologická analýza lomových ploch .....	53
3.7.1. Princip činnosti rastrovacího elektronového mikroskopu .....	53
3.7.2. Příprava a pozorování lomových ploch .....	53
3.7.3. Zhodnocení .....	54
3.8. Komplexní hodnocení .....	54
3.8.1. Návrh komplexního hodnocení .....	54
3.9.2. Komplexní hodnocení zkoušených ocelí .....	56
4. Diskuse výsledků .....	58
5. Závěr .....	59
6. Seznam literatury .....	61
7. Přílohy .....	62

**Seznam symbolů a zkratk**

$A$	.....	tažnost [%]
$ARA$	.....	anizotermický rozpad austenitu
$Ac$	.....	teplota přeměny [°C]
$B_{min}$	.....	šířka hlavy [mm]
$d_0$	.....	průměr tyče kruhového průřezu [mm]
$F$	.....	zatěžující síla [N]
$h$	.....	výška hlavy zkušební vzorku [mm]
$HRC$	.....	tvrdost podle Rockwella
$HB$	.....	tvrdost podle Brinella
$k$	.....	koeficient závislosti na způsobu ohřevu
$k_I$	.....	koeficient závislosti na tvaru nástroje
$K$	.....	nárazová práce
$KC$	.....	vrubová houževnatost
$L_o$	.....	počáteční měrná délka tyče [mm]
$L_c$	.....	zkušební délka tyče [mm]
$L_t$	.....	celková délka tyče [mm]
$Ms$	.....	teplota počátku martenzitické přeměny [°C]
$Mf$	.....	teplota konce martenzitické přeměny [°C]
$Re$	.....	mez kluzu v tahu [MPa]
$Rp$	.....	smluvní mez kluzu [MPa]
$Rm$	.....	mez pevnosti v tahu [MPa]
$w$	.....	tahová houževnatost
$T$	.....	doba ohřevu [s]
$\alpha$	.....	fáze alfa ( ferit $\alpha$ )
$\gamma$	.....	fáze gama ( austenit )

## 1. Úvod

*„Dokonce dnes, v době atomových pum, raket a všech těch nových bojových prostředků, nemůžeme odložit nejstarší lidskou zbraň – nůž. A já si nemyslím, že by k tomu vůbec někdy došlo.*

*Muž s nožem je právě ten, který nemůže být nikdy zdolán.“*

*Admirál T.D.Rudock*

Nejstarším a nejužívanějším nástrojem člověka, který nám odkázali naši prehistoričtí předkové a který stále používáme, je bezesporu nůž.

Od toho dne před tisíci lety, kdy našeho předka napadlo prodloužit pazourkovou čepel rukojetí ze dřeva či kosti, se nůž stal nepostradatelným mnohoúčelovým nástrojem člověka. Příznivci nožů tvrdí, že nůž vydělil pravěkého člověka ze zvířecího společenství, protože mu umožnil dělit se o potravu. Stal se tak nástrojem sbližující lidský rod.

Nůž používáme každý den, aniž bychom o tom přemýšleli, stejně jako naši předkové ve všech dobách a ve všech civilizacích. Slouží nám k přípravě potravy, k jídlu, uříznutí hole, ořezání tužky, přefíknutí motouzu, k obraně a k dalším činnostem. Škálu použití rozšiřují speciální řemeslnické nože, vyvinuté ze základního tvaru univerzálního nože. Neexistuje snad žádný jiný nástroj s tak nekonečnou paletou tvarů, úprav a provedení. Procházet vítězně staletími a dnes a denně nachází nové použití. Fascinuje rozmanitostí tvarů, proporcí, materiálů, systémů otevírání, variací čepelí i rukojetí.[2]

Nástrojové oceli jsou dnes z pohledu výrobců nožů značně opomíjenou skupinou ocelí, ačkoli není zase tak daleko doba, kdy si bez těchto ocelí výrobce nožů neuměl nikdo představit. Způsobil to rozvoj technologie výroby korozivzdorných ocelí, které pro svoji maximální odolnost proti korozi vytlačily poměrně v krátké době klasické nástrojové oceli. Korozivzdorné oceli byly samozřejmě u nás již známy velmi dávno, jednalo se však především o oceli austenitické, maximálně feritické, jejichž řezné vlastnosti nejsou-li zcela nedostatečné (austenitické oceli), tedy jsou alespoň horší. Používání v převážné míře korozivzdorných ocelí prosadili především hygienici, kteří na kuchyňské nože striktně, a nutno říci, že oprávněně, předepsali zdravotně nezávadný materiál. Na tomto místě je však ale nutno poukázat na skutečnost, že tvrdost a houževnatost čepelí vyrobených z nástrojových ocelí jsou přece jenom vyšší než u čepelí vyrobených z korozivzdorných ocelí. Mnozí pamětníci dodnes vzpomínají na řeznické nože, které se dělali již před mnoha desítkami let z nástrojových ocelí, jejichž ostrost a řezivost jsou i dnes dávány za příklad dokonalosti. Totéž platí o sekáčích i jiných nožířských výrobcích. Menší korozní odolnost byla mnohdy málo významná, pracovalo-li se s nimi denně, nebo zcela bezvýznamná, byly-li nože používány k jiným účelům než potravinářským. Jde především o nože tábornické, bojové, meče, mačety, sekery apod. Proto je i dnes dobré mít dostatek znalostí o nástrojových ocelích, které mají oproti korozivzdorným ocelím i další zpracovací výhody, jako jsou nižší kalící teploty a tím i lacinější kalící pece a nižší spotřeba energie. Mnozí světoví a uznávaní nožíři dodnes používají pro své výrobky výhradně nástrojových ocelí.

## 2. Teoretická část

### 2.1. Nástrojové oceli

K výrobě nástrojů se většinou používají různé druhy nástrojových ocelí s odlišným stupněm legování podle požadavků kladených na vlastnosti nástroje. Tyto oceli se vyrábějí z jakostních surovin, tavených v elektrických obloukových nebo indukčních pecích. Jen pro méně náročné nástroje se v omezeném měřítku aplikují oceli konstrukční. Odlišnost nástrojových ocelí proti konstrukčním spočívá v jejich vyšší čistotě a jakosti, užším rozmezí legujících prvků, resp. menším kolísání vlastností a také v kombinaci legujících přísad. Na nástroje jsou kladeny velmi různorodé požadavky, proto existuje široký sortiment nástrojových ocelí.[3]

#### 2.1.1. Vlastnosti nástrojových ocelí

Podle použití, podmínek namáhání a velikosti nástrojů je nutno zaručit u nástrojových ocelí

- pevnost
- plastické vlastnosti, houževnatost
- tvrdost
- zakalitelnost
- odolnost proti popouštění
- odolnost proti opotřebení

##### 2.1.1.1. Pevnost

U tvrdých nástrojů pracujících za normální teploty se obvykle zjišťuje pevnost v ohybu, protože lépe vystihuje způsob namáhání nástroje při provozu. Pevnost v tahu je také málo citlivá na změnu vlastností, které probíhají při popouštění za nízkých teplot. Tahové zkoušky se proto provádějí převážně u ocelí s pevností do 1800 MPa. Ani zkouška pevnosti v krutu se příliš neosvědčila, protože výsledky mají poměrně velký rozptyl. Houževnatost méně tvrdých ocelí se určuje rázovou zkouškou v ohybu bez vrubu nebo s vrubem. Povrch vzorků musí být pečlivě připraven, neboť oceli jsou při vysoké pevnosti citlivé na vruby.[1]

Pevnost nástrojových ocelí závisí :

- na pevnosti základní matrice, kterou tvoří obvykle nízkopopuštěný martenzit a malé množství zbytkového austenitu
- na množství, velikosti, tvaru a uspořádání karbidů. Pevnost nástrojových ocelí snižují silně zbytky eutektického karbidického skeletu, řetízky sekundárních karbidů a karbidická řádkovitost. Při stejném množství ji snižují hrubé karbidy více než jemné
- na směru namáhání. Nadeutektoidní a ledeburitické oceli, u kterých se tvoří při tváření karbidická řádkovitost, mají nižší pevnost hlavně ve směru kolmém na směr tváření
- na jakosti povrchu. Nástrojové oceli mají po zakalení a nízkém popouštění vysokou pevnost, takže jsou mimořádně citlivé na vruby. Aby se získaly maximální mechanické vlastnosti, je třeba povrch pečlivě připravit.
- na pnutí. Po 24 hodinové výdrži na normální teplotě se pevnost v ohybu zvýší nepatrně, po prodloužení výdrže na 72 hodin je však pozorováno výrazné zvýšení. Protože nedochází ke změně tetragonality mřížky, souvisí zvýšení pevnosti se snížením pnutí relaxací.



- na velikosti zrna. S rostoucí velikostí zrna klesají hodnoty pevnosti i meze kluzu, přičemž se k sobě nežádoucně přibližují.

#### **2.1.1.2. Plastické vlastnosti, houževnatost**

Houževnatost ocelí závisí na podobě matrice a množství, velikosti a morfologii karbidů. Vyšší plastické vlastnosti mají oceli jemnozrnné. Karbidy musí být jemné, rozložené rovnoměrně v matrici. Nejvíce snižují houževnatost karbidy vyloučené na hranicích zrn jako řetízky nebo sít'oví.

#### **2.1.1.3. Odolnost proti popuštění**

Nástrojové oceli si musí zachovat tvrdost a mechanické vlastnosti po delší dobu za zvýšených teplot, aby se nesnížila odolnost proti otěru a řezivost

#### **2.1.1.4. Zakalitelnost**

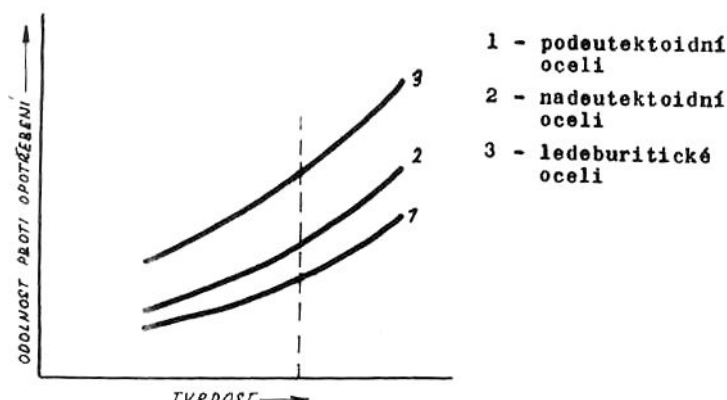
Zakalitelnost se definuje jako tvrdost získaná po kalení. Patří k základním vlastnostem nástrojových ocelí, protože ovlivňuje odolnost proti opotřebení a také řezivost. Při nízké tvrdosti klesá mez kluzu, takže plastická deformace probíhá při nižším napětí. Tvrdost oceli závisí hlavně na obsahu uhlíku.

Tvrdost se obvykle měří podle Rockwella, protože měření je rychlejší než např. měření tvrdosti podle Vickerse. Přesnost je dostatečná a porušení povrchu malé. Při vyhodnocování jakosti nástroje podle tvrdosti je ovšem třeba si uvědomit, že tvrdost není jednoznačným měřítkem jakosti. Mechanické i technologické vlastnosti ovlivňuje např. uspořádání karbidů, jejich velikost, řádkovitost apod. U nástrojů namáhaných dynamicky se tvrdost snižuje pod 60 až 58 HRC, i když se tím sníží odolnost proti opotřebení.[1]

#### **2.1.1.5. Řezivost a odolnost proti otěru**

U řezných nástrojů se vyžaduje, aby měly co nejlepší řezivost. Řezání materiálů je také nemyslitelné bez otěru funkčních částí nástrojů. Otěr ovlivňuje velikost opotřebení a tím spolupůsobí i na řezivost.

Řezivost a odolnost proti otěru jsou závislé jednak na tvrdosti ocelí, jednak na morfologii struktury (obr.1), tj. na společném působení základní hmoty a karbidů. Tvrdost, a tedy i řezivost a odolnost proti otěru, ovlivňuje především obsah uhlíku v oceli. Legující přísady, především karbidotvorné prvky, ovlivňují řezivost a odolnost proti otěru tvorbou speciálních karbidů a zvýšením odolnosti ocelí proti poklesu tvrdosti při zahřátí. Z běžně používaných prvků je v tomto směru nejúčinnější vanad, dále molybden, wolfram a chróm.



Obr.1 Zobrazení vlivu tvrdosti a typu ocelí na odolnost proti opotřebení [3]

#### 2.1.1.6.Ostatní požadavky

Kromě hlavních existují ještě speciální požadavky na nástrojové oceli. Jsou to odolnost proti tvorbě trhlinek tepelné únavy, dobrá obrobitelnost i obrusitelnost nebo leštitelnost, co nejnižší cena apod.

Uvedené požadavky na nástrojové oceli nelze souhrnně dosáhnout v optimální míře u jednoho materiálu. Vždy se vyskytují určité protiklady v požadavcích a vlastnostech ocelí. Tyto protiklady vyžadují kompromisní řešení mezi nejdůležitějšími a ostatními požadavky na vlastnosti ocelí, např. mezi tvrdostí a houževnatostí. Z tohoto hlediska je nutno chápat způsob legování i poměrně obsáhlý sortiment vyráběných značek ocelí.[1]

#### 2.1.2.Rozdělení nástrojových ocelí

Na nástrojové oceli jsou kladeny vysoké, často protichůdné požadavky. Některé nástroje musí mít vysokou tvrdost a pevnost, u jiných se naopak mechanické vlastnosti snižují, aby se získala dostatečně vysoká houževnatost. U nástrojů pracujících za tepla musí zůstat zachovány mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. U všech nástrojů se žádá vysoká odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení, u některých i za zvýšených teplot. Nástrojové oceli musí mít také vyšší čistotu, tj. nižší obsah vměstků a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici, aby se snížilo nebezpečí praskání nástrojů při kalení a vyštípování břitů za provozu. U ocelí na nástroje s větší tloušťkou stěny resp. S komplikovanými tvary je nutno zaručit dostatečně velkou prokalitelnost. Někdy se také žádá odolnost proti korozi. Pokud mají mít nástroje vysokou tvrdost povrchu, ale houževnaté jádro, používají se nelegované nebo nízkolegované cementační oceli nebo se provádí speciální tepelné zpracování.

Nástrojové oceli je možno rozdělit podle

- chemického složení
- druhu ochlazovacího prostředí
- způsobu použití

Podle chemického složení rozlišujeme oceli [1]

- nelegované
- nízkolegované (součet legovacích prvků do 5%)
- střednělegované (součet legovacích prvků 5 až 10%)
- vysokolegované (součet legovacích prvků nad 10%)

Protože se může vyskytnout menší obsah legovacích prvků i u nelegovaných ocelí, byla stanovena hranice jednotlivých prvků, nad kterou se již ocel považuje za legovanou.

Podle ČSN 42 0002 je maximální přípustné množství

Mn...0,9%	Si...0,5%	Cr...0,3%	W...0,2%	Mo...0,1%
V...0,1%	Ni...0,5%	Co...0,2%	Al...0,1%	Ti...0,1%

Tab.1 [1]

Nástrojové nelegované oceli se rozdělují podle obsahu uhlíku na

- oceli s nízkým obsahem uhlíku (max. 0,25%)
- oceli se středním obsahem uhlíku (0,25 až 0,60%)
- oceli s vysokým obsahem uhlíku (nad 0,60%)

Podle druhu ochlazovacího prostředí při kalení se nástrojové oceli rozdělují na

- kalitelné do vody
- kalitelné do oleje
- kalitelné na vzduchu

Podle způsobu použití

- oceli pro práci za studena
- oceli pro práci za tepla
- oceli rychlořezné

V jednotlivých skupinách jsou potom detailněji členěny oceli podle účelu použití pro jednotlivé skupiny nástrojů. Existují však i tzv. obojživelníci, oceli používané ve více skupinách. Příkladem je např. ocel 19 733 aplikovaná na nástroje pro práci za studena i za tepla.

### 2.1.3.Značení nástrojových ocelí

V naší normě se označují nástrojové oceli stejně jako všechny ostatní materiály šestimístním číslem. Prvá číslice (4) udává hutní skupinu. Vlastní značka ocelí je pětimístná. Prvé dvojčíslí (19) ve značce označuje třídu tvářené oceli. Význam třetí až páté číslice určuje ČSN 42 0002. [3]

U uhlíkových ocelí udává dvojčíslí ze třetí a čtvrté číslice střední obsah uhlíku, resp.jeho dvojnásobnou hodnotu:

19 221.....1,15%C

19 083.....0,45%C

Pátá číslice u uhlíkových ocelí vyjadřuje jakostní třídu

č.1.....1.jakost - 19 191

č.2.....2.jakost - 19 152

č.3.....3.jakost - 19 083

č.5,6.....speciální použití - 19 255

U slitinových ocelí vyjadřuje třetí číslice přísadovou skupinu, ve spojení se čtvrtou číslicí pak příslušnou kombinaci přísad. Pátá číslice je pořadovou číslicí a ještě jemněji odlišuje jednotlivé typy.

Význam třetí číslice:

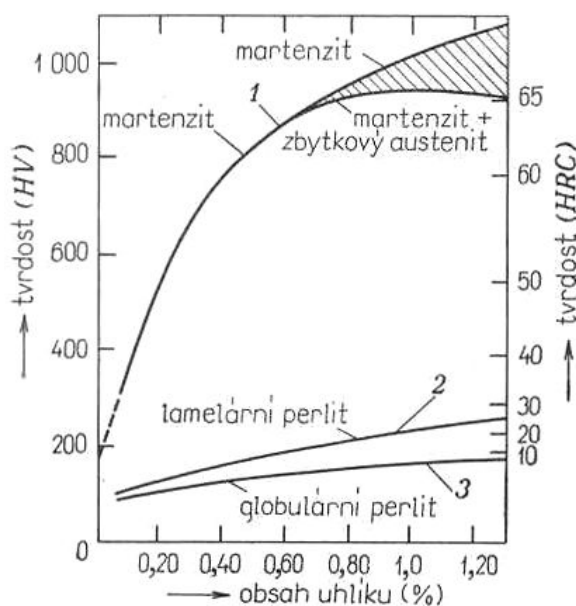
19 0xx		19 083
19 1xx	Uhlíkové oceli	19 191
19 2xx		19 221
19 3xx	Manganové oceli	19 314
19 4xx	Chromové oceli	19 452
19 5xx	Chrom – molybdenové oceli	19 573
19 6xx	Niklové oceli	19 663
19 7xx	Wolframové oceli	19 733
19 8xx	Rychlořezné oceli	19 830

Tab.2 Příklady ocelí [3]

### 2.1.4. Legovací přísady a jejich význam

#### Uhlík (C)

Uhlík je nejdůležitější přísadový prvek v oceli. Zvyšuje tvrdost a pevnost (obr.1), zvyšuje odolnost proti opotřebení a řezivost, tvoří karbidy, se železem cementář  $\text{Fe}_3\text{C}$ , s dalšími karbidotvornými prvky jako je chrom, wolfram, molybden, vanad apod. tvoří speciální karbidy. Snižuje plastické vlastnosti a houževnatost. Jeho obsah v nástrojových ocelích je až do 2,2%. Snižuje teplotu počátku martenzitické přeměny  $M_s$ . [5]



Obr.2

Vliv obsahu uhlíku na tvrdost uhlíkových ocelí ve stavu kaleném (1) a žíhaném (2) [5]

#### Mangan (Mn)

Mangan se používá k desoxidaci a odsíření oceli, zvyšuje prokalitelnost. S uhlíkem tvoří nestálé karbidy. Snižuje teplotu  $M_s$  a zvyšuje obsah zbytkového austenitu po kalení. Jeho obsah je do 2%.

#### Křemík (Si)

Křemík se používá jako desoxidační přísada, netvoří karbidy. Mírně zvyšuje prokalitelnost, zlepšuje mez pružnosti a únavy a odolnost proti popouštění. Obsah křemíku v ocelích je do 2%.

#### Nikl (Ni)

Nikl zlepšuje pevnost, houževnatost a prokalitelnost. Snižuje teplotu  $M_s$  a zvyšuje tak podíl zbytkového austenitu po kalení. Netvoří s uhlíkem karbidy. Obsah niklu nepřekračuje 5%.

#### Chrom (Cr)

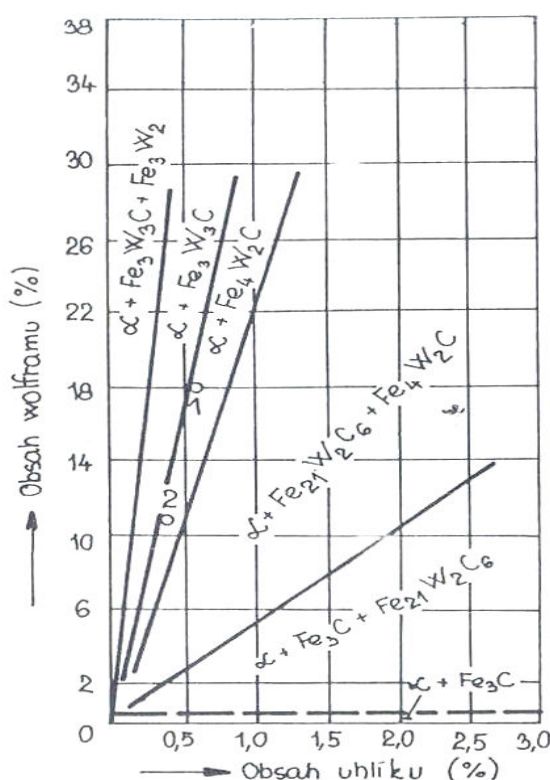
Chrom patří do skupiny feritotvorných prvků, tvoří karbidy, jež zvyšují odolnost proti opotřebení. V ternárních slitinách  $\text{Fe-Cr-C}$  se část chromu rozpustí v základní kovové matici a část tvoří s uhlíkem karbidy. Typ karbidů tvořících se v chromových ocelích závisí na obsahu chromu a uhlíku. Chromové oceli jsou kalitelné na vzduchu i v oleji. U

nízkolegovaných ocelí na zušlechťování se obvykle využívá vlivu chromu na zvýšení prokalitelnosti. Pevnost stoupá pomaleji než při přísadě manganu nebo křemíku. Při zvyšování podílu chromu v chromových ocelích se snižuje svařitelnost. Výhodné je, že plastické vlastnosti klesají až do 2 % chromu pomalu. Pevnost v tahu se zvyšuje o 80 až 100 MPa na každé 1 % chromu. Chromové oceli jsou odolnější proti popouštění. Pevnost za vysokých teplot se zlepšuje při vyšším obsahu chromu. Vyšší obsah chromu snižuje tvoření okujů. Pro korozní odolnost se vyžaduje více než 13 % chromu. Snižuje tepelnou a elektrickou vodivost. Snížená je též tepelná roztažnost. Podporuje též vznik popouštěcí křehkosti.

Snižuje teplotu  $M_s$ . Maximální obsah u nástrojových ocelí je 15%.

### Wolfram (W)

Wolfram velmi účinně zvyšuje odolnost proti popouštění a prokalitelnost, tvoří speciální karbidy s vysokou stabilitou, které výrazně zvyšují oteruvzdornost a řezivost. Při vyšším obsahu snižuje houževnatost. Obsah v nástrojových ocelích bývá do 20%.



Obr.3 Typy karbidů v soustavě Fe-W-C [1]

### Molybden (Mo)

Molybden zvyšuje prokalitelnost, velmi účinně podporuje odolnost proti popouštění, tvoří speciální karbidy s vyšší odolností proti opotřebení. Oceli s přísadou molybdenu jsou však náchylnější k oduhlčování povrchu při ohřevu na kalící teplotu. Obsah v ocelích do 6%.

### Vanad (V)

Vanad tvoří speciální karbidy, zabraňující hrubnutí zrna při přehřátí, výrazně zvyšuje odolnost proti opotřebení, a to výrazněji než molybden a wolfram. Při vyšším obsahu snižuje houževnatost. Obsah v ocelích bývá do 5 %.

### Kobalt (Co)

Kobalt je nekarbidotvorný prvek, snižuje prokalitelnost a výrazně zvyšuje odolnost proti popouštění, neboť snižuje difuzi legujících prvků. Obsah v nástrojových ocelích je do 12%.

### Fosfor (P)

Fosfor zhoršuje plastické vlastnosti ocelí, houževnatost a tváritelnost. Jeho obsah je nutné udržovat na nízké úrovni.

### Síra (S)

Síra podobně jako fosfor zhoršuje plastické vlastnosti ocelí, zlepšuje obrobitelnost. Její obsah se pohybuje rovněž jako u fosforu na velmi nízké úrovni. U nástrojových ocelí bývá do 0,04%.

### Měď (Cu)

Měď je přímíšenina podporující prokalitelnost, zlepšuje obrobitelnost a korozivzdornost. Obsah bývá do 0,3%.

## 2.2. Tepelné zpracování nástrojových ocelí

Tepelné zpracování ocelí vyvolává změny struktury, které podstatně mění jejich vlastnosti. Smyslem TZ je získání struktury vhodné pro vlastní zpracování oceli (mechanické opracování) a k získání konečných užitečných vlastností nástroje. Polotovary se u nástrojových ocelí dodávají zpravidla ve stavu po žíhání naměkko. Nástroje získávají konečné vlastnosti kalením a popouštěním.[1]

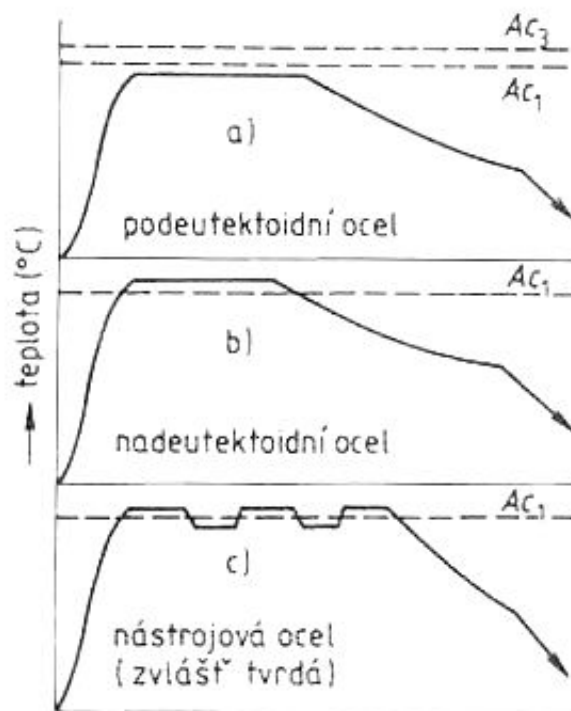
### 2.2.1. Žíhání

Společným znakem žíhacích pochodů je poměrně dlouhá výdrž na žíhací teplotě a pozvolné ochlazování. Žíhání naměkko, jehož cílem je vytvoření struktury lobulárního perlitu, tj. struktury tvořené základní feritickou hmotou se sferoidizovanými částicemi karbidů. Umožňuje získat ocel s malou tvrdostí a dobrou obrobitelností. Struktura po žíhání naměkko je zpravidla výchozí strukturou před konečným tepelným zpracováním nástroje.

Při tomto způsobu žíhání se obvykle používají teploty těsně pod teplotou přeměny Ac1. U nástrojových ocelí legovaných vyššími obsahy slitinových přísad je rychlost sferoidizace příliš malá, proto se pro urychlení pochodu volí též teploty i mírně nad Ac1.

Doba výdrže na žíhací teplotě se pohybuje podle složení oceli a velikosti předmětu v rozmezí asi 2-4 hodiny. Po žíhání se ocel ochlazuje zvolna v peci. Při ochlazování rychlostí 10-20°C/hod do teploty asi 600°C, jinak dojde k nežádoucí přeměně struktury a nedosáhne se nejmenší tvrdosti.

Žíhání naměkko se zařazuje při výrobě čepelí po provedeném kování, kdy struktura materiálu není ideální pro mechanické opracování.



Obr.4

Žíhání na měkko

a,b,c) – postupy žíhání [6]

## 2.2.2. Kalení

Princip kalení spočívá v ohřevu na austenitizační teplotu a následném rychlém ochlazení pod teplotu počátku vzniku martenzitu  $M_s$ . Austenitizační teplota musí být zvolena tak vysoko, aby došlo k rozpuštění přiměřeného množství karbidů a tím k obohacení austenitu uhlíkem a dalšími prvky, které se na tvorbě karbidů podílely. Po předepsané výdrži na kalící teplotě se ocel ochladí ve vhodném prostředí takovou rychlostí, aby se co nejvíce austenitu přeměnilo na martenzit.

### 2.2.2.1. Ohřev

Kalené předměty se mají ohřívat na kalící teplotu pozvolna a rovnoměrně. Při nestejnoměrném ohřevu může dojít ke vzniku tvarových deformací, popř. i trhlin již při ohřevu. Oceli více legované se zhoršenou tepelnou vodivostí je dobré ohřívat v několika teplotních stupních.



Ohřev s předehřevem se obvykle provádí jednostupňově při teplotě kolem 650°C nebo kolem 850°C podle výše kalící teploty. Předehřev pro kalící teploty nad 900°C je však lépe provádět dvoustupňově při teplotách kolem 650 a 850 °C. Výdrž na teplotě slouží pouze k vyrovnání teploty v celém průřezu nástroje. Doby pro vyrovnání teplot se volí přibližně 0,5 minuty na 1 mm tloušťky při teplotách předehřevu do 650°C a asi 1 minutu na 1 mm tloušťky při předehřevu na 850-900°C.

Pro každou ocel jsou doporučeny vhodné kalící teploty, které leží podle chemického složení 30-80°C nad teplotou přeměny  $Ac_3$  u ocelí podeutektoidních, resp.  $Ac_{1,2}$  u ocelí nadeutektoidních. Oceli s vysokým obsahem karbidotvorných prvků, jako např. chrómové ledeburitické oceli, se austenitizují podle druhu oceli při relativně vysokých teplotách 1000-1250°C, aby se dosáhlo potřebného nalegování základní hmoty uhlíkem a karbidotvornými prvky.

Po dosažení kalící teploty v celém průřezu je nutné, aby ještě následovala výdrž na této teplotě. Při konvenčních způsobech ohřevu je tato doba asi 10-15 minut, popř. 20-30 minut u vysokolegovaných nástrojových ocelí. Doba ohřevu potřebná pro dosažení kalící teploty v celém průřezu nástroje závisí na průřezu, na výši teploty předehřevu, na kalící teplotě a na použitém zařízení pro ohřev. Jejím stanovení se používají diagramy nebo tabulky závislosti doby ohřevu na průřezu, platné pro dané podmínky. [1]

Pro přibližný výpočet doby ohřevu nástroje na kalící teplotu v celém průřezu lze použít rovnici:

$$T = k \cdot k_1 \cdot S$$

$T$  – doba ohřevu v minutách

$k$  – koeficient závislosti na způsobu ohřevu a druhu oceli

$k_1$  – koeficient závislosti na tvaru nástroje (u nožových čepelí  $k_1=2$ )

$S$  – tloušťka v mm

Potřebnou dobu prodlevy na kalící teplotě je nutno při tomto způsobu výpočtu doby ohřevu ještě připočítat.

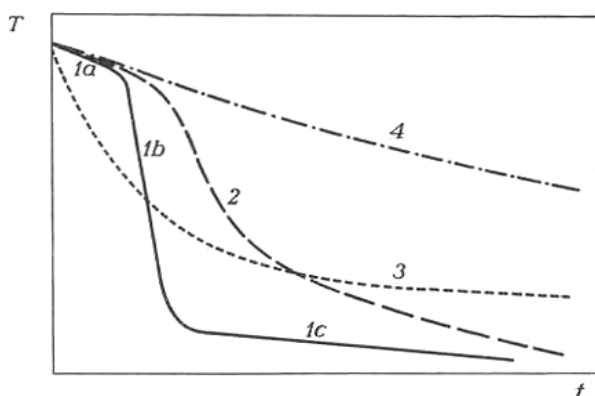
	Ohřívací prostředí	Doba ohřevu v min. na 1 mm tloušťky stěny				
		Předehřev		Dohřev	Ohřev	
		první	druhý		bez předehřevu	s jedním předehřevem
Nelegovaná ocel	Komorová pec	1,7	-	0,6 - 0,8	2	-
	Šolná lázeň	0,33	-	0,17	0,5	-
Nízko-legovaná ocel	Komorová pec	1,7	-	1,2 - 1,3	2,5 - 2,7	-
	Šolná lázeň	0,4 - 0,5	-	0,2 - 0,3	0,6 - 0,7	-
Vysoko-legovaná ocel	Komorová pec	1,7	0,8	0,4 - 0,5	-	2,5 - 2,7
	Šolná lázeň	0,47 - 0,5	0,3	0,17	-	0,6

Tab.3 Koeficienty pro výpočet doby ohřevu [1]

### 2.2.2.2. Ochlazování

Po ohřevu na kalící teplotu jsou nástroje ochlazovány nadkritickou rychlostí na vzduchu, v oleji, v solné lázni nebo ve vodě. Každá značka oceli má předepsané ochlazovací prostředí, které se volí podle chemického složení a prokalitelnosti, popř. podle ARA diagramu příslušné oceli. Ochlazovací rychlost nemá být větší než je bezpodmínečně nutné k dosažení maximální tvrdosti, jinak vzniká nebezpečí nadměrných deformací, velkého vnitřního pnutí, popř. vyvolání kalících trhlin. Při ochlazování musí být zajištěn dokonalý styk nástroje s kalícím prostředím. To se děje pohybem nástroje nebo cirkulací ochlazovacího prostředí.

Nelegované oceli, s ohledem na jejich malou prokalitelnost, se kalí zásadně do vody, výjimečně do oleje. Teplota vody by neměla přesáhnout 20-30°C. Legované oceli, které mají vyšší prokalitelnost, postačí většinou ochlazovat v oleji nebo dokonce na vzduchu. Teplota oleje se pohybuje v rozmezí 30-80°C. Pro omezení deformací a zmenšení vnitřního pnutí lze u ocelí kalitelných v oleji nebo na vzduchu postupovat také tak, že provedeme ochlazení jen asi na 80-100°C a po vyrovnání teplot se ihned zařadí popouštění. V tomto případě se doporučuje popouštět 2krát vzhledem k možnosti výskytu nepopuštěného martenzitu vzniklého rozpadem zbytkového austenitu po prvním popouštění.[5]



Obr.5

Průběh ochlazování při kalení do různých prostředí [6]

1 – voda

a) 1. údobí ochlazování

b) 2. údobí ochlazování

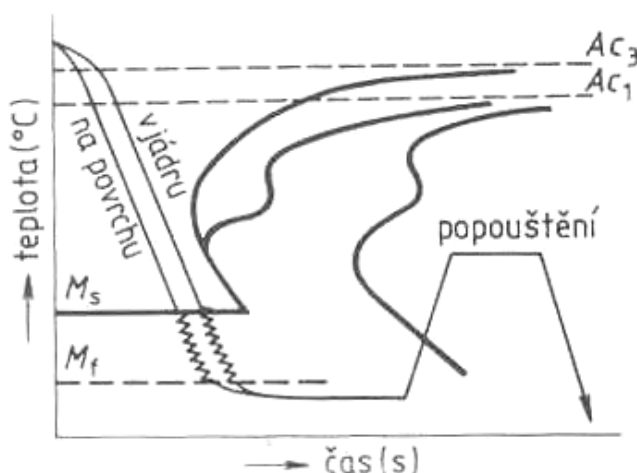
c) 3. údobí ochlazování

2 – olej

3 – solná lázeň

4 – vzduch

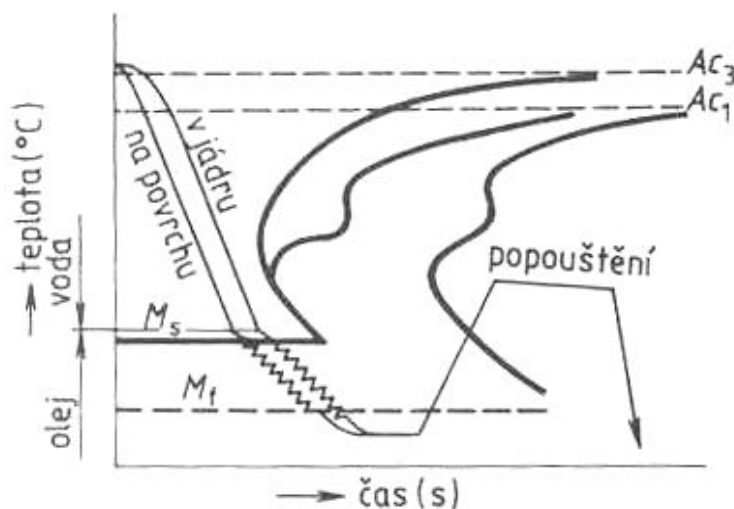
Nepřetržitě kalení je běžný postup a spočívá v ohřevu na teplotu vyšší než  $Ac_3$ , popř.  $Ac_1$ , výdrži na této teplotě k dosažení homogenního austenitu a v následujícím ochlazení v kalícím prostředí (voda, olej, vzduch), jehož teplota je nižší než teplota počátku martenzitické přeměny. Po vychladnutí předmětu v kalícím prostředí následuje popouštění.



Obr.6

Nepřetržitě kalení [6]

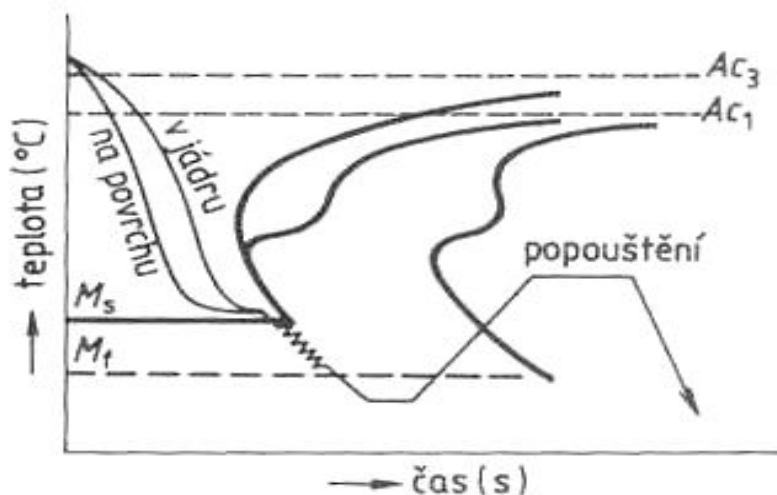
Přerušované kalení (lomené) se používá pro uhlíkové nebo nízkolegované oceli, které se musí kalit do vody. Při přerušovaném kalení se kalení ve vodě přeruší, když součást dosáhla teploty pod perlitickým nosem, ale nad teplotou  $M_s$ , tj. asi při 250 až 450 °C. Kalená součást se pak rychle přenesle do oleje. Tak se dosáhne zmenšení rychlosti ochlazování v martenzitickém intervalu a zmenšení teplotních i strukturních pnutí. Tento druh kalení vyžaduje značnou zkušenost a technologickou kázeň.



Obr.7  
Přerušované  
kalení [6]

Kalení do teplých lázní lze dosáhnout účinného omezení deformací. Pod tímto pojmem se rozumí řada postupů, jejichž společným znakem, je to, že zmenšují nebo odstraňují teplotní pnutí, vznikající v průběhu kalení. Jsou založeny na znalosti diagramu rozpadu austenitu, zejména jejich martenzitické a bainitické části. Při kalení do teplých lázní lze v mnoha případech omezit deformace natolik, že je možné někdy i vypustit dokončovací obráběcí operace (broušení) po kalení. Zmenšením vnitřního pnutí nebo vytvořením zvláště houževnatých strukturních složek se zlepšuje i houževnatost.

Termální kalení je nejběžnějším z postupů kalení do teplých lázní. Používá se především u nástrojů. Kalená součást se po austenitizaci rychle ochladí na teplotu alespoň o 20°C vyšší, než je teplota  $M_s$  příslušné oceli. Ochlazení se musí dít nadkritickou rychlostí. V lázni se kalená součást udržuje tak dlouho, aby nastalo úplné vyrovnání na povrchu a v jádře kalného předmětu. Prodleva však nesmí být delší, než je inkubační doba, aby nenastala bainitická přeměna. Po vyrovnání teploty se součást dochladí na teplotu místnosti obvykle na klidném vzduchu. Při pomalém ochlazování přes  $M_s$  proběhne martenzitická přeměna velmi stejnoměrně. Protože teplotní a strukturní pnutí jsou mnohem menší než při kalení přímém, jsou i deformace po kalení velmi malé. V ocelích s vysokým obsahem uhlíku, zejména u ocelí nástrojových, se použitím termálního kalení výrazně zmenšuje nebezpečí praskání.[5]

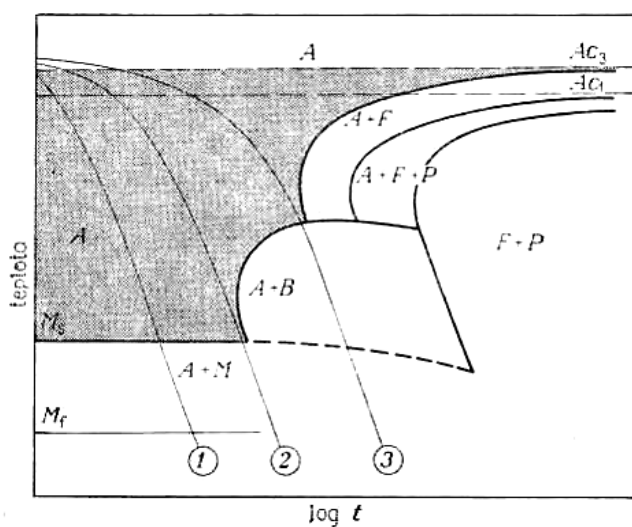


Obr.8

Termální  
kalení [6]

### 2.2.2.2.1. Diagram ARA

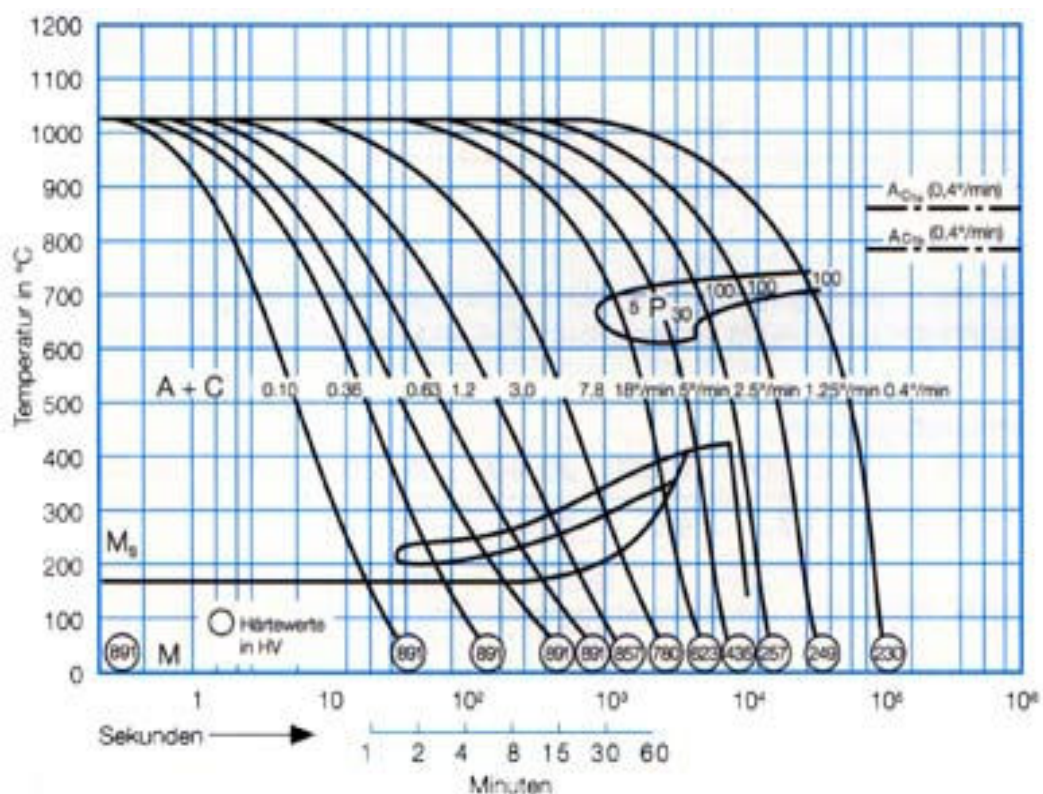
Diagram anizotrmického rozpadu austenitu (obr.11) nám pomáhá získat představu o přeměnách v průběhu ochlazování a o jejich kinetice. V tomto diagramu jsou kromě křivek počátku a konce anizotermického rozpadu zakresleny i ochlazovací křivky.



Obr.9 [5]

základní postup kalení –  
podeutektoidní středně  
legovaná ocel

- 1 – nadkritická rychlost  
ochlazování
- 2 – kritická rychlost  
ochlazování
- 3 – kritická rychlost pro  
vznik směsi bainitu a  
martenzitu



Obr.10 Diagram ARA oceli 19 573 [10]

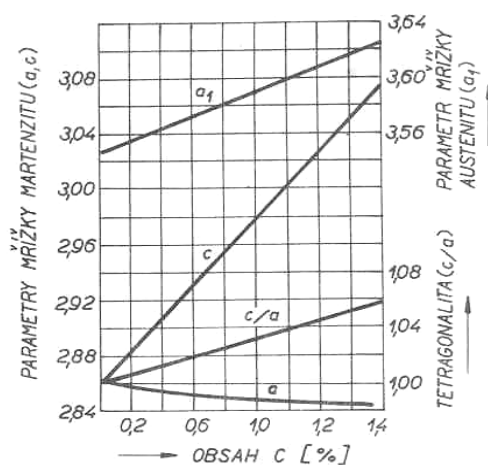
#### 2.2.2.2.2. Martenzitická přeměna

Je-li austenit přechlazen až do oblasti tak nízkých teplot, že již není možná účinná difúze nejen přísadových prvků, ale také uhlíku, přeměňuje se bezdifúzní přeměnou v martenzit. Produktem této přeměny, jež probíhá v rozmezí teplot  $M_s$  až  $M_f$ , je nerovnovážený, silně přesycený tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$ , zvaný martenzit. Aby vznikla tato metastabilní fáze, jež je hlavní strukturní součástí zakalených ocelí, je nutné ochlazovat austenitickou ocel pod teplotu  $M_s$  v čase kratším, než je doba potřebná pro zahájení perlitické nebo bainitické přeměny. Minimální rychlost, při které jsou ještě zcela potlačeny difúzní přeměny austenitu a probíhá jeho bezdifúzní přeměna na martenzit, se označuje jako kritická rychlost kalení. Její hodnota závisí na složení a na struktuře austenitu. U uhlíkových ocelí dosahuje hodnoty až  $1000\text{ }^\circ\text{C/s}$ . [7]

Martenzitická přeměna v ocelích je zvláštním případem bezdifúzní (stříhové) přeměny, při které nová fáze vzniká uspořádanými přesuny skupin atomů z uzlových bodů původní fáze do uzlů mřížky nové fáze tak, že relativní změny poloh sousedních atomů jsou menší než meziatomová vzdálenost. Při tomto druhu přeměny vzniká na rovinném povrchu reliéf. Pro přeměny tohoto druhu je vhodné označení „vojenské“ přeměny. Na rozdíl od „civilních“ přeměn se přeskupují atomové konfigurace disciplinovaným způsobem. V ideálním případě žádný z atomů nezmění svoji polohu se sousedem v průběhu přeměny z původní fáze ve výslednou. Martenzitická přeměna slitin železa je možná jak v intersticiálních (C, A), tak v substitučních tuhých roztocích (Ni, Mn, Cr) a za vhodných podmínek i v čistém železe. Jejím základem je polymorfní přeměna železa  $\gamma$  na  $\alpha$  a v přítomnosti uhlíku jsou její specifické rysy dány výrazným rozdílem jeho rozpustnosti v obou modifikacích železa i značnou tvrdostí martenzitu.

Martenzit má v zakalené oblasti tvar desek, které se na snímku jeví jako jehlice. V každém zrna austenitu vzniká obvykle větší počet martenzitických krystalů a jejich velikost vzrůstá s velikostí zrna austenitu a s jeho homogenitou. V mezním případě mohou dosáhnout rozměru austenitického zrna. Prvé desky martenzitu rozdělí zrna původní fáze, a protože jsou pro další krystaly martenzitu neprůchozími překážkami, jemnost struktury se zvětšuje se vzrůstajícím rozsahem přeměny. V důsledku stříhového mechanismu růstu vznikají útvary o malé tloušťce. Kolem rostoucího martenzitu vzrůstá v austenitické matici napětí, dochází k plastické deformaci a roste hustota dislokací. Původní koherence hranice se porušuje, rozhraní ztrácí schopnost skluzového pohybu a přeměna ustává. Přeměna posledních zbytků austenitu, obklopeného deskami martenzitu, se stává obtížnou také proto, že martenzit má větší měrný objem než austenit.

Martenzit ocelí je přesycený tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$  s krystalografickou mřížkou tetragonální prostorově centrovanou, její parametry jsou závislé na obsahu uhlíku, jehož koncentrace v martenzitu zůstává stejná jako ve výchozím austenitu. Atomy uhlíku jsou umístěny v intersticiálních oktaedrických polohách kubické mřížky železa a způsobují její deformaci na mřížku tetragonální. Tyto polohy však atomy uhlíku převážně zaujímají až při jeho obsahu nad 0,2%. Až do této koncentrace segreguje až 90% atomů uhlíku na dislokacích nebo na substrukturních hranicích jehlic nízkouhlíkového martenzitu v průběhu kalení. V těchto polohách nezpůsobují tetragonalitu experimentálně měřitelnou, jež je proto zjištělná až při obsahu uhlíku nad 0,2%.



Obr.11 Závislost obsahu uhlíku a parametru mřížky martenzitu [7]

### 2.2.3. Popouštění

Konečné vlastnosti nástroje se získávají popouštěním. Nástroje jsou po kalení křehké a náchylné k praskání. Je nutné jejich okamžité popouštění. Výše popouštěcí teploty se volí podle požadované tvrdosti či houževnatosti. Ohřev má být pozvolný s dostatečnou prodlevou na popouštěcí teplotě, která umožní popouštění v celém objemu nástroje. Při popouštění do teploty 300°C není nutný předehřev, při vyšších popouštěcích teplotách je nutné nástroje předehřát, nejlépe ve vzduchové peci vyhřáté na 300 – 350°C. Po vyrovnání teploty popouštění v téže peci dále ohřívat rychlostí 20-50 °C/hod podle velikosti až do popouštěcí teploty. Doba výdrže na popouštěcí teplotě, nutná k průběhu požadovaných strukturních změn, musí být při popouštění do teploty 300°C minimálně 1 hod, při vyšších popouštěcích teplotách je nutná doba výdrže asi 1 hod na každých 20-25 mm tloušťky.[1]

Při popouštění nelegovaných a méně legovaných ocelí na nižší teploty vzniká na čistém povrchu vrstva oxidů, které se vlivem interference zbarvují. S rostoucí teplotou roste tloušťka vrstvy a objevují se tak postupně barvy od světle žluté (asi 200°C) až po šedou (330°C).

### 2.3. Nástrojové oceli pro nožířské použití

Pro nožířské použití jsou vhodné oceli s dobrou houževnatostí a odolností proti opotřebení. Mezi houževnatostí a tvrdostí je nutno volit vzájemný kompromis, neboť u nástroje s vysokou tvrdostí a nízkou houževnatostí může dojít k prasknutí už při malém nestandardním namáhání, při páčení nebo při pádu. Tyto oceli se také špatně přebušují a je nutno je ostřit na bruskách. U oceli s vysokou houževnatostí dochází k rychle k opotřebení ostří, takže i když je nástroj odolný proti mechanickému namáhání, po krátké době je třeba ho znovu naostřit.

Pro provedení zkoušek na porovnání vlastností bylo vybráno sedm ocelí. Oceli byly vybrány základě toho, že jsou buď běžně používány na výrobu čepelí (19 314, 19 571, 19 573, 19 663), nebo podle jejich vlastností a užití, pro které se hodí na výrobu čepelí (19 452, 19 550, 19 733). Vlastnostmi pro výběr byly hlavně houževnatost, odolnost proti opotřebení, tvářitelnost za tepla a obrobitelnost. Podle použití to jsou materiály vhodné na stříhání.

Pokud bylo možné, byly použity oceli vyrobené dle ČSN, pokud již daný typ oceli nebyl dostupný nebo se v ČR již nevyrábí, byl nahrazen ekvivalentem zahraniční oceli od firmy Uddeholm, Švédsko.

#### 2.3.1. Popis použitých ocelí

V této části jsou uvedeny charakteristiky porovnávaných ocelí, vhodnost použití a tabulky chemického složení oceli. V tabulce je nejprve uvedeno chemické složení oceli dle ČSN, potom chemické složení použité ekvivalentní oceli (pokud je použita) a chemické složení polotovaru, ze kterého byly připravovány zkušební vzorky. Materiálové listy ocelí a atest výrobce dodaných polotovarů jsou v příloze X.

#### Nástrojová ocel 19 314, použitý ekvivalent: ocel ARNE firmy Uddeholm

##### Charakteristika

Mangan – chrom – wolfram- vanadová nástrojová ocel pro práci za studena ke kalení v oleji se zvláště dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování. Zvýšená odolnost proti opotřebení, dobrá řezivost a leštitelnost. Ocel je dobře tvářitelná za tepla a ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná.[10]

##### Vhodnost použití

Ocel je vhodná na nástroje pro stříhání na lisech a na děrování materiálů menších tloušťek při složitém tvaru, kotoučové nože, na nástroje pro tváření, tažení a ražení materiálů menších tloušťek.

Ekvivalent k americké oceli AISI O1.

<b>19 314 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,90 až 1,00	1,00 až 1,30	0,20 až 0,40	0,40 až 0,60	0,40 až 0,60		0,15 až 0,30			0,030	0,035	230	
<b>ARNE - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,95	1,1	0,3	0,6	0,60		0,1					190	62
<b>ARNE - chemické složení v % – tavba 184160</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,93	1,15	0,28	0,51	0,54		0,1			0,011	0,006	205	

Tab.4 Chemické složení oceli 19 314 (ARNE)

## Nástrojová ocel 19 452

### Charakteristika

Chrom - křemíková ocel se střední prokalitelností ke kalení v oleji, velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, dobrá odolnost proti dynamickému, střídavému namáhání a namáhání úderem, velmi dobrá pružnost a odolnost proti opotřebení (i ve stavu tepelně nezpracovaném), dobrá tvárnost za tepla a dobrá obrobitelnost v žíhaném stavu.

### Vhodnost použití

Nástroje pro stříhání za studena tj. přestřihovací, prostřihovací, ostřihovací a děrovací nástroje, nože nůžek pro stříhání materiálů větších tloušťek. Nástroje řezné na obrábění dřeva např. hoblovací nože, frézy, vrtáky, dlabací řetězy aj. Ruční nástroje tj. ruční a pneumatické sekáče, šroubováky, klíče aj. Nástroje upínací např. kleštiny. Dále na formy např. vyhazovače, závitové kolíky pro tváření plastických hmot, formy na lisování cihel a šamotového zboží. Nástroje na drcení a mletí - menší kladiva a čelisti drtičů.

<b>19 452 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,55 až 0,65	0,60 až 0,90	1,50 až 1,90	0,70 až 1,00				0,35		0,030	0,035	max. 230	58
<b>19 452 - chemické složení v % – tavba T78073</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,61	0,76	1,72	0,86				0,11		0,018	0,013		

Tab.5 Chemické složení oceli 19 452



## Nástrojová ocel 19 550, použitý přibližný ekvivalent: ocel COMPAX SUPREME firmy Uddeholm

### Charakteristika

Chrom – molybden – vanadová ocel pro práci zas studena i za tepla ke kalení v oleji i na vzduchu, s velkou prokalitelností (na vzduchu asi do  $\phi$  60 mm), velmi dobrou stálostí rozměrů při tepelném zpracování, vysokou houževnatostí a odolností proti dynamickému namáhání, úderům a rázům, dobrou odolností proti opotřebení, popouštění a pevností za tepla. Ocel má obtížnější svařitelnost za tepla a dobrou obrobitelnost ve stavu žíhaném na měkko.

### Vhodnost použití

Nástroje pro stříhání za studena: stříhání a děrování materiálů větších tlouštěk a vyšších pevností, profilové a průmyslové nože, kruhové nože, nástroje pro tváření za studena: ražení a jednoduchých i složitých tvarů, značkovací razidla, kladiva drtičů pro hrubší drcení.

Na řezné nástroje: nástroje na obrábění dřeva, nože, tvarové nože, frézky, vrtáky, sekací nože.

Ekvivalent k americké oceli AISI S7.

<b>19 550 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,50 až 0,60	0,60 až 0,90	0,20 až 0,45	2,90 až 3,60		1,00 až 1,40	0,08 až 0,17			0,030	0,035	210	59
<b>COMPAX SUPREME - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,53	0,7	0,3	3,2		1,5						200	58
<b>COMPAX SUPREME - chemické složení v % – tavba DV46153</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,52	0,67	0,25	3,25		1,5		0,11		0,015	0,002	187	

Tab.6 Chemické složení oceli 19 550 (COMPAX SUPREME)

**Nástrojová ocel 19 571, použitý ekvivalent: ocel RIGOR firmy Uddeholm****Charakteristika**

Chrom – molybden – vanadová ocel kalitelná na vzduchu nebo v oleji, dobrá obrobiteľnosť, vysoká rozměrová stálost po kalení, vysoká pevnost v tlaku, dobrá kalitelnost a dobrá odolnost proti opotřebení.

**Vhodnost použití**

Ocel se pro svou houževnatost a otěruvzdornost používá na stříhací nástroje (matrice, razníky), nástroje pro lisovací techniku, nástroje na válcování závitů, tvářecí nástroje za studena (ohýbání, protlačování, tažení), ostříhovací nože nůžek, tvářecí válce, kalibry, měřicí přístroje a formy na lisování plastů.

Ekvivalent americké oceli AISI A2.

<b>19 571 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,90 až 1,05	0,20 až 0,40	0,20 až 0,40	4,80 až 5,50		0,90 až 1,20	0,08 až 0,17			0,035	0,035	235	63
<b>RIGOR - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,0	0,6	0,3	5,3		1,1	0,2					215	62
<b>RIGOR - chemické složení v % – tavba N70916</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,96	0,48	0,29	4,97		0,94	0,16			0,016	0,001	219	

Tab.7 Chemické složení oceli 19 571 (RIGOR)

**Nástrojová ocel 19 573, použitý ekvivalent: ocel SVERKER 21 firmy Uddeholm****Charakteristika**

Chrom - molybden - vanadová ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji a na vzduchu, zvláště vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá řezivost, velmi vysoká pevnost v tlaku, menší houževnatost. Tato ocel vykazuje dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování, vhodná ke kalení na sekundární tvrdost. Ocel se velmi obtížně brousí, obtížně tváří za tepla a má poněkud ztíženou obrobiteľnosť v žíhaném stavu.

**Vhodnost použití**

Nástroje pro stříhání za studena tj. všechny druhy nástrojů s velkou životností pro stříhání na lisech a děrování materiálů menších tloušťek a materiálů vysoké pevnosti, zejména tvarově složité nástroje pro stříhání např. transformátorových plechů a

plechů z nerezavějících ocelí, nože pro tabulové nůžky na plech a pásovou ocel do tl. stříhaného materiálu cca 10 mm, nože na stříhání drátu apod. Nástroje pro tváření jako jsou např. menší průvlaky a nástroje pro tažení, všechny druhy nástrojů na přetváření a ražení materiálů

Ekvivalent k americké oceli AISI D2.

<b>19 573 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,40 až 1,65	0,20 až 0,45	0,20 až 0,45	11,0 až 12,5		0,6 až 0,95	0,80 až 1,20			0,030	0,035	250	61
<b>SVERKER 21 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,55	0,4	0,3	11,8		0,8	0,8					210	62
<b>SVERKER 21 - chemické složení v % – tavba M74508</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,59	0,3	0,32	11,8		0,72	0,73			0,019	0,000 7	229	

Tab.8 Chemické složení oceli 19 573 (SVERKER 21)

## Nástrojová ocel 19 663

### Charakteristika

Nikl - chrom - molybden - vanadová ocel ke kalení v proudu vzduchu nebo v oleji s velkou prokalitelností. Ocel vykazuje vysokou tvrdost po kalení, dobrou odolnost proti popuštění, dobrou houževnatost a pevnost za tepla. Dobře odolává prudkým tepelným změnám i tepelné únavě. Ocel je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko.

### Vhodnost použití

Na nástroje pro tváření za tepla jako jsou zápustky všech velikostí, zejména s pevností nad 1300 Nmm<sup>2</sup> pro buchary a kovací lis, průtlačníky s pevností nad 1600 Nmm<sup>2</sup> pro protlačování neželezných kovů. Dále je ocel vhodná pro nože u stříhání za studena materiálů velkých tloušťek, nože na šrot apod. Pro lisování plastických hmot je z této oceli možné vyrábět velké tvárníky a tvárnice a tyto kalit na vzduchu.

Ekvivalent americké oceli AISI L6.

<b>19 663 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,50 až 0,60	0,50 až 0,90	0,30 až 0,60	0,90 až 1,30		0,30 až 0,50		1,50 až 1,90		0,030	0,030	max. 255	min. 52
<b>19 663 - chemické složení v % – tavba 70871</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,55	0,69	0,41	1,04		0,376	0,15	1,67		0,024	0,018		

Tab.9 Chemické složení oceli 19 663

### Nástrojová ocel 19 733

#### Charakteristika

Chrom - wolfram - křemíková ocel s velkou prokalitelností ke kalení v oleji, velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, velmi dobrá odolnost proti dynamickému střídavému namáhání, velká řezivost (při střihání) a odolnost proti opotřebení, nárazům a úderům, zvýšená stálost proti popouštění a zvýšená pevnost za tepla, dobrá tvárnost za tepla a dobrá obrobiteľnosť v žíhaném stavu.

#### Vhodnost použití

Nástroje pro střihání za studena tj. přestřihovací, prostřihovací, ostřihovací a děrovací nástroje, nože nůžek pro střihání materiálů větších tloušťek a vyšší pevnosti. Nástroje řezné na obrábění dřeva např. frézy, loupací a sekací nože na dřevo aj. Ruční nástroje tj. sekáče do pneumatických kladiv na ocel vyšší pevnosti a na čištění odlitků. Pro tváření za studena jako jsou malé nástroje pro ražení a protlačování, značkovací razidla na materiály vyšší pevnosti, vlačovací trny.

<b>19 733 - chemické složení v %</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,52 až 0,62	0,10 až 0,40	0,80 až 1,20	0,90 až 1,20	1,70 až 2,20			0,35		0,030	0,035	max. 230	min. 56
<b>19 733 - chemické složení v % – tavba 77918</b>												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,54	0,30	0,98	1,10	1,80			0,05		0,024	0,019		

Tab.10 Chemické složení oceli 19 733

## 2.4. Návrh metodiky hodnocení ocelí

Pro porovnání vlastností ocelí byly zvoleny tyto zkoušky:

- zkouška tahem pro zjištění vlastností ocelí při statickém namáhání a zjištění tahové houževnatosti
- zkouška vrubové houževnatosti z důvodu zvýšené citlivosti nástrojových ocelí na koncentraci namáhání v místech defektů
- zkouška tvrdosti k ověření hodnot tvrdosti po tepelném zpracování
- zkouška řezivosti a otupení k ověření řezných vlastností a odolnosti materiálu proti abrazivnímu opotřebení

Doplňkové zkoušky pro ověření vlastností zkoušených ocelí:

- metalografie: - k ověření tepelného zpracování ocelí
  - ke zjištění stavu materiálu po tváření za tepla
  - k ověření formy a velikosti otupení ostří

Vzorky porovnávaných ocelí jsou postupně zpracovávány a v jednotlivých fázích přípravy jsou odebrány vorky materiálu pro metalografii.

### 2.4.1. Zkouška tahem

Zkouška tahem je nejrozšířenější a nejvhodnější mechanickou zkouškou, patří mezi statické zkoušky.

Při zkoušce tahem je zkušební tyč zatěžována (kvazi)statickým jednoosým tahem; zkouška obvykle končí destrukcí zkušební tyče.

Zkoušky kovových materiálů tahem se v ČR řídí národní normou ČSN EN 10002 (listopad 1994), která je identická s evropskou normou EN 10002:90.

Zkouška spočívá v deformaci zkušební tyče jednoosým tahovým zatížením obvykle do přetržení pro stanovení jedné nebo více napěťových a deformačních charakteristik zavedených v normě. Obvykle se zkouší při okolní teplotě v rozmezí od 10°C do 35°C, pokud není stanoveno jinak, v arbitrážních případech při teplotách  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Rychlost zatěžování se pohybuje od 0,5 do 2,0 mm/min. [12]

Tvar a rozměry zkušebních tyčí závisí na tvaru a rozměrech kovových výrobků, pro které jsou určovány mechanické vlastnosti. Zkušební tyč je obvykle připravena obráběním vzorku odebraného z výrobku; vzorky o stálém příčném průřezu (profily, dráty, tyče) mohou být podrobeny zkoušce bez obrobení. Příčný průřez zkušebních těles může být kruhový, čtvercový, obdélníkový, prstencový nebo jiného tvaru

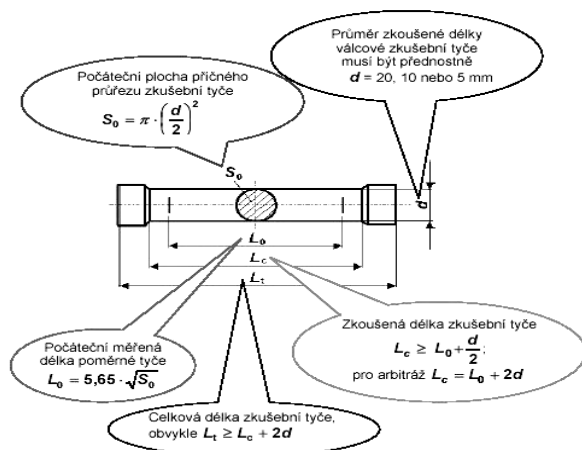
Zkušební tyče jsou dvojího druhu:

- **poměrné**, pro jejichž počáteční měřenou délku  $L_0$  a počáteční průřez  $S_0$  platí vztah

kde  $k$  je 5,65 a délka  $L_0 > 20$  mm. Jestliže příčný průřez zkušební tyče nesplňuje požadavky kladené na hodnoty  $k$  a  $L_0$ , používá se větší hodnota  $k$ ; přednostně  $k = 11,3$ .

Pro poměrné zkušební tyče je délka  $L_0$  zaokrouhlována na nejbližší násobek 5 mm za předpokladu, že rozdíl mezi vypočtenou a označenou délkou je menší než 10 %  $L_0$ . Délka  $L_0$  musí být určena s přesností  $\pm 1$  % a označena značkou nebo ryskou, která netvoří vrub, jenž by mohl vyvolat předčasný lom.

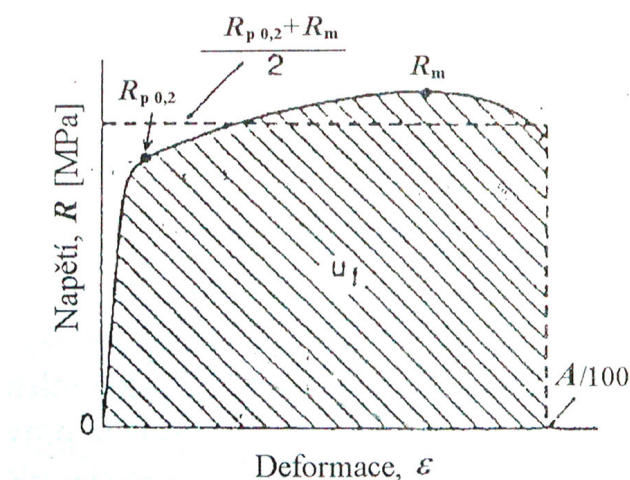
- **nepoměrné** jsou zkušební tyče, u nichž je délka  $L_0$  nezávislá na počátečním příčném průřezu.



Obr.12 Tyč pro zkoušku tahem [7]

Kromě charakteristik pevnostních a plastických vlastností lze ze zkoušky tahem získat i další důležité vlastnosti – tahové houževnatosti, což je schopnost materiálu absorbovat energii před jeho porušením. Měřítkem je deformační práce spotřebovaná na deformaci a porušení zkušební tyče. Tato práce je úměrná ploše ležící pod křivkou pracovního diagramu (obr.xxx)

$$\text{Tahová houževnatost } w = \int_0^{\epsilon} \sigma \cdot d\epsilon \quad [\text{MJ/m}^3]$$



Obr.13 Určení tahové houževnatosti [7]

### 2.4.2. Zkouška vrubové houževnatosti

K určení vrubové houževnatosti materiálu při rázovém namáhání, jejíž měřítkem je práce (energie), spotřebovaná na porušení zkušební tělesa, slouží dynamické zkoušky rázem. Rázová zkouška v ohybu má z rázových zkoušek největší význam. Používá se zejména u ocelí. Vzhledem k vysoké houževnatosti ocelí by někdy nedošlo k porušení (přeražení) zkušební tělesa, ale jen k plastické deformaci. Proto se opatřují zkušební tyče vrubem. V jeho dně dochází při úderu ke koncentraci napětí a vzniká oblast složité napjatosti, což zvýší pravděpodobnost křehkého porušení tělesa. Vedle tvaru a rozměrů zkušební tělesa ovlivňují vrubovou houževnatost i další činitelé, jako je např. jakost povrchu, velikost zrna kovu a u tvářených materiálů i orientace vrubu vzhledem ke směru tváření.[4]

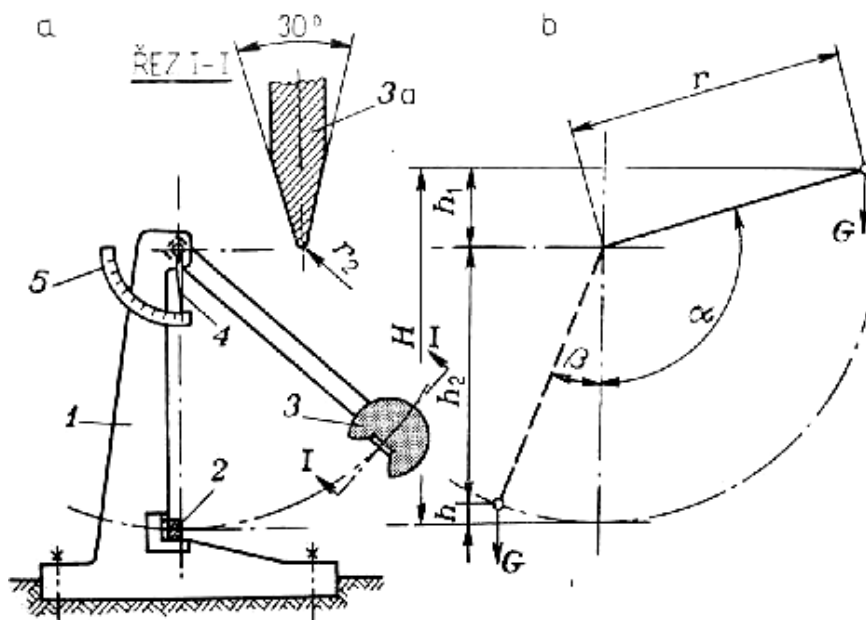
U zkoušky Charpyho se vztahuje spotřebovaná práce na nejmenší průřez zkušební tyče v místě vrubu. Tato hodnota se nazývá vrubová houževnatost a označuje se  $R$ .

$$KC = K / S_0 \quad [J/cm^2]$$

$K$  – nárazová práce potřebná k přeražení tyče [J]

$S_0$  – průřez zkušební tyče v místě vrubu [ $cm^2$ ]

Ke zkoušce se používá kyvadlových kladiv. Schéma kyvadlového kladiva, uložení zkušební tyče i poměry pro výpočet spotřebované práce jsou na obr.16. Velikost kyvadlových kladiv je dána maximální energií rázu, kterou vyvodí. Běžně se používá kladiv s 250 a 300 J. Nárazová rychlost je v mezích 4 až 7 m/s



Obr.14 Poměry při rázové zkoušce v ohybu [5]

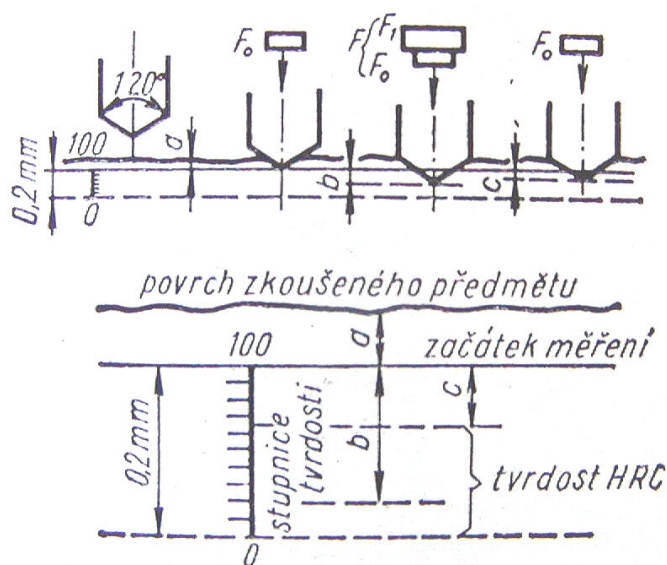
- a) schéma Charpyho kyvadlového kladiva, 1) rám stroje, 2) zkušební tyč, 3) kyvadlové kladivo, 3a) tvar břítu kladiva, 4) vlečná ručka, 5) stupnice
- b) veličiny pro určení energie,  $G$ ) kývající hmota (hmotnost kladiva a části závěsu),  $r$ ) poloměr dráhy břítu kladiva

### 2.4.3. Zkouška tvrdosti

Tvrdot patří k základním mechanickým vlastnostem a je nejčastěji definována jako odpor proti deformaci povrchu materiálu vyvolané působením cizího tělesa. Zkoušky tvrdosti jsou v praxi velmi často používané pro svoji jednoduchost a rychlost provedení, jedná se prakticky o zkoušky nedestruktivní, neboť funkční a vzhledové porušení zkoušených dílů je většinou bezvýznamné. Jsou vhodné jak pro zkoušení malých vzorků, tak i pro rozměrné kusy. Tvrdot velmi často slouží jako výchozí hodnota pro stanovení ostatních mechanických vlastností.

Zkouška tvrdosti podle Rockwella má jako základ pro určení tvrdosti hloubku vtisku. Do zkoušeného materiálu se vtlačuje buď ocelová kulička (pro měkké materiály), nebo diamantový kužel (pro tvrdé materiály). Diamantový kužel má vrcholový úhel  $120^\circ$ , špička kužele je zaoblená poloměrem 0,2mm. Kužel musí být velmi přesný.

Jednotkou čísla tvrdosti je hloubka vtisku 0,002 mm. Při měření se nejdříve udělá malý vtisk zatížením 100N, který je výchozím bodem k měření hloubky vtisku po dalším zkušebním zatížení. Hloubka vtisku (tvrdot) se odečítá přímo na stupnici číselníkového úchylkoměru (hloubkoměru), namontovaného přímo na měřicím přístroji.[8]



Obr.15 Princip měření podle Rockwella diamantovým kuželem [8]

Rockwellova metoda je nejvhodnější pro provozní měření tvrdosti. Tato metoda je rychlá a pohotová, běžně se jí používá ke kontrole jakosti tepelného zpracování. Nevýhodou je menší přesnost měření oproti ostatním metodám.



#### 2.4.4. Zkouška řezivosti a otupení

Touto zkouškou se posuzuje schopnost ostří nástroje vnikat do materiálu a odolávat opotřebení při řezání.

Zkouška řezivosti a otupení nožových čepelí není normována, proto byl navržen postup dle metodiky Asociace českých nožířů, vhodný pro měření těchto vlastností nožových čepelí.

Při řezání materiálu nástrojem s ostřím klínového tvaru nedochází k odřezávání, ale k rozřezávání. Pokud je kolmo řezán nepoddajný materiál (dřevo, tvrdší plast, tvrdá pryž) o větší tloušťce, dochází k tomu, že klín ostří vnikne do materiálu pouze tak hluboko, než se začne řezaný materiál opírat o boky klínu a znemožní další vnikání nástroje. Pro eliminování této skutečnosti byl jako zkušební materiál navržen papír a to ve formě papírových lamel navrstvených na sobě. Doplnkovým materiálem bylo zvoleno konopné lano.

Při vnikání klínu ostří do sloupce lamel dochází k postupnému rozřezávání, a jelikož jsou lamely volně na sobě položeny, rozřezávaná lamela se odsune a nepůsobí na bok klínu. Při řezání je zatěžováno pouze ostří nástroje. U lana se vlákna chovají podobně, po rozříznutí se uvolní a nekladou odpor vnikajícímu klínu ostří.

Pomůcky pro provedení zkoušky:

- přístroj na měření obr.18
- zkušební čepel z porovnávaných materiálů dle výkresu KMT-DP-03
- papírové lamely v počtu 250 ks na jeden zkušební řez
- konopné lano o průměru 20 mm
- závaží o hmotnosti 1,5 ks
- posuvné měřítko

Popis použité papírové lamely:

- materiál: kancelářský psací papír o hmotnosti 80g/m<sup>2</sup>
- tloušťka lamely: 0,1 mm
- šířka lamely: 10 mm
- délka lamely: 100 – 210 mm

Postup zkoušky:

Část 1): Do zkušebního přístroje se umístí zkoušená čepel s vyznačenou zkušební délkou. Zásobník přístroje se naplní lamelami (lamely jsou umístěny vodorovně kolmo na zkoušenou čepel), zásobník se spustí na ostří čepel a zatíží se závažím. Tažením zkušební čepel se provede řez do lamel.

Zkušební délka řezu: 130 mm

Hmotnost zátěže: 1,5 kg

Řezná rychlost: 40 mm/s

Po zkušebním řezu se sečte počet rozříznutých lamel a hodnota se zapíše do tabulky.

Provedou se 3 zkušební řezy za stejných podmínek.

Část 2): Do zkušebního přístroje se na místo lamel vloží konopné lano o průměru 20 mm, spustí se a zatíží závažím. Provede se řez za stejných podmínek jako v části 1. Po zkušebním řezu se měří hloubka vniknutí ostří do lana a hodnota se zapíše do tabulky.

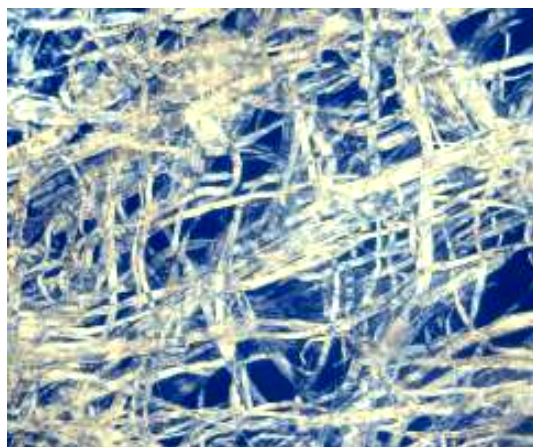
Provedou se 3 zkušební řezy za stejných podmínek.

Část 3): V této části zkoušky se zopakuje měření totožné s částí 1.

Popis principu zkoušky:

Při řezání materiálu dochází k opotřebení ostří a ke snižování schopnosti nástroje vnikat do materiálu. Pro zkoušku jsou použity dva materiály, papír a konopné lano. Vlákná papíru jsou rozložena nepravidelně (obr 16), a kromě celulóзовých vláken obsahuje papír lepidla a přísady. Naproti tomu lano je tvořeno vlákny vedenými v jednom směru, zkroucenými a stlačenými k sobě (obr.17)

Dva různé materiály byly zvoleny z důvodu pozorování změn vlastností zkoušených vzorků při řezání různých materiálů.



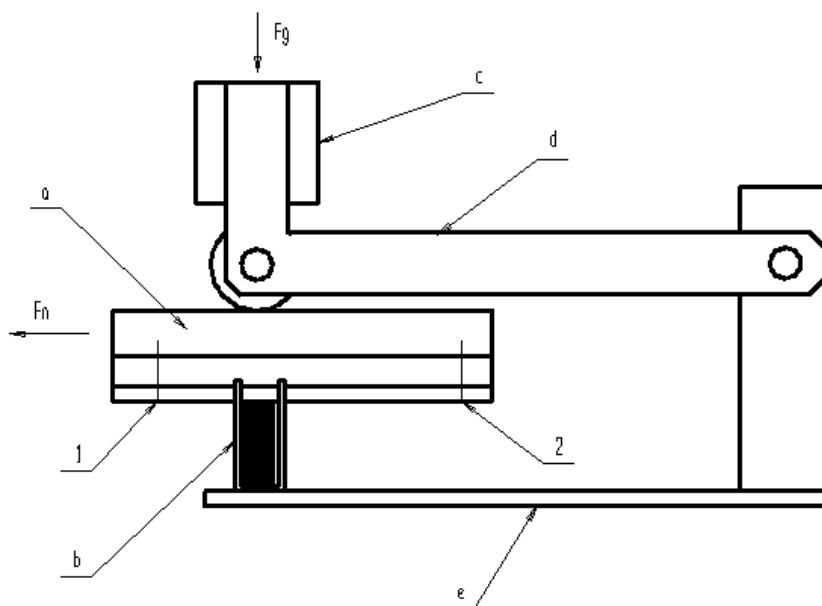
*Obr.16 Struktura papíru*



*Obr. 17 Struktura konopného lana*

Popis zkušebního přístroje:

Přístroj pro tuto zkoušku je tvořen jednoramennou pákou se závažím, která doléhá na hřbet čepele prostřednictvím vodítka a tlačí čepel do zkušebního materiálu. Páka je se základnou spojena otočně čepem. Nákres přístroje je na obr.18



Obr.18 Schéma přístroje na měření řezivosti

a) měřený vzorek, b) zásobník papírových lamel, c) přitlačné závaží, d) přitlačné rameno, e) základna přístroje, 1,2) počáteční a koncový bod měření,  $F_n$ ) řezná síla,  $F_g$ ) přitlačná síla

Zkouška je rozdělena do dvou částí:

- řezivost: schopnost naostřeného nástroje vnikat do materiálu (posuzuje se po provedení prvního řezu, kdy není ještě ostří otupeno)
- otupení: schopnost materiálu zachovávat si ostrost (rozdíl hodnot naměřených na začátku a na konci zkoušky)

Obě části zkoušky se vyhodnocují samostatně.

#### 2.4.5. Metalografie

Metalografie je používána zejména pro hodnocení kvality kovových materiálů, svarů, odlitků, defektů apod. Hlavním cílem metalografie je tedy pozorování hodnoceného vzorku pomocí mikroskopu. Pro náš případ byla hodnocena struktura materiálu po tváření za tepla, po tepelném zpracování a geometrie bříty ostří po zkoušce otupení.

### 3. Experimentální část

V této kapitole budou popsány postupy všech provedených měření a vyhodnoceny získané výsledky.

#### 3.1. Příprava vzorků

Z každého porovnávaného materiálu byly připraveny vzorky jednotlivé zkoušky. Jako polotovary pro přípravu vzorků byly použity kruhové tyče o průměru 18, 20 a 22 mm dle sortimentu dodavatele. U každého materiálu byla změřena tvrdost, zda odpovídá hodnotám, uváděným v atestech výrobce. Pokud tato hodnota v atestu uvedena nebyla, vycházelo se z hodnoty uvedené v materiálovém listu dané oceli.

Od každé oceli byl tepelně zpracován soubor vzorků pro jednotlivé zkoušky. Pro zkoušku tahem byl připraven 1 vzorek, pro zkoušku vrubové houževnatosti 3 vzorky a pro zkoušku řezivosti a otupení 1 vzorek.

##### 3.1.1. Vzorky pro zkoušku tahem

Jako vzorky pro tahovou zkoušku byly použity zkušební tyče, vyrobené z polotovarů materiálů pro porovnání. Zkušební tyče byly vysoustruženy z kulatiny dle výkresu KMT-DP-01 příloha 1. Celková délka zkušební tyče byla 100 mm, zkušební průměr tyče byl upraven na 6mm z důvodu výkonu trhacího stroje. Oba konce zkušební tyče byly opatřeny závitem M16 pro upevnění do matic, vkládaných do hlavy přístroje. Na čelech tyče bylo provedeno označení (viz. odst. 3.1.5.).

Vzorek byl tepelně zpracován s ostatními vzorky stejného materiálu, určenými pro jiné zkoušky.

##### 3.1.2. Vzorky pro zkoušku vrubové houževnatosti

Pro zkoušku vrubové houževnatosti byly připraveny 3 tyče od každého porovnávaného materiálu. Tyče byly vykovány z polotovaru a vybroušeny na zkušební tyč. Jelikož vykováný polotovar měl tloušťku 6mm, byla použita tyč o rozměrech 10x5 mm délky 55mm. Na zkušebních tyčích byl vybroušen U-vrub o hloubce 2 mm (výška vzorku pod vrubem 8mm), a poloměrem kořene vrubu 1 mm. Provedení tyče bylo dle výkresu KMT-DP-02 Příloha 2.

##### 3.1.3. Vzorky pro zkoušku řezivosti a otupení

Pro zkoušku řezivosti a otupení byly připraveny zkušební vzorky ve tvaru čepelky dle výkresu KMT-DP-03 Příloha 3. Polotovar čepelky byl vykován z kulatiny ručním kovááním pomocí bucharu. Z polotovaru čepelky byl odříznut vzorek pro metalografické posouzení tváření za tepla. Po vykování na tloušťku 6 mm byl vzorek obroušen, byla odstraněna vrstva okují a oduhličená vrstva, vzniklá při ohřevu materiálu. Byl vybroušen základní tvar a na rovinné brusce byl vzorek obroušen na tloušťku 5 mm brusným pásem zrnitosti 60. Posledním krokem přípravy vzorku bylo vybroušení klínového ostří čepelky o vrcholovém úhlu 35°. Jako konečná úprava bylo provedeno přebroušení brusným pásem zrnitosti 320.

Vzorky byly na čele označeny zářezy (viz odst.3.1.5.) a tepelně zpracovány dle norem pro jednotlivé materiály.

Po tepelném zpracování byl odříznut vzorek pro metalografické posouzení tepelného zpracování. Čepel byla po kalení přebroušena a bylo provedeno konečné broušení ostří, postupně brusným pásem zrnitosti 320 a zrnitosti 600.

Ostří bylo broušeno proti hrotu, aby bylo zamezeno vzniku otřepu, který by mohl zkreslovat výsledky měření.

Zkušební čepel měla konečný rozměr 200x30x5 mm.

### **3.1.4. Tepelné zpracování vzorků**

Tepelné zpracování vzorků bylo provedeno odbornou firmou podle norem pro jednotlivé druhy ocelí. Všechny vzorky byly postupně tepelně upraveny tak, aby vykazovaly hodnotu tvrdosti 56-58 HRC, což jsou vhodné hodnoty pro nožové čepele z důvodu dobré kombinace houževnatosti a tvrdosti materiálu.

#### **ocel 19 314 (ARNE)**

Ocel byla zakalena při teplotě 810°C s výdrží na teplotě 25 minut s přehřevem při 600°C. Ochlazování proběhlo v oleji, po kalení vykazovaly vzorky tvrdost 62 HRC. Vzorky byly po zakalení při teplotě 50 až 70 °C popouštěny, 2x 3 hodiny při 200°C až 300°C dle tvrdosti jednotlivých vzorků.

#### **ocel 19 452**

Ocel byla zakalena při teplotě 840°C s výdrží na teplotě 30 minut. Ochlazování proběhlo v oleji. Výsledná tvrdost po zakalení byla 63HRC. Vzorky byly popouštěny při 200°C až 300°C pro dosažení požadované tvrdosti.

#### **ocel 19 550 (COMPAX SUPREME)**

Ocel byla zakalena při teplotě 950 °C s výdrží na teplotě 30 min. Ochlazování proběhlo v oleji, tvrdost po kalení byla 61 HRC. Vzorky byly popouštěny při teplotě 200 °C.

#### **ocel 19 571 (RIGOR)**

Ocel byla zakalena při teplotě 950°C s výdrží na teplotě po dobu 30 min. Ochlazování proběhlo v oleji. Výsledná tvrdost po kalení byla 63 HRC. Ocel byla popouštěna při teplotě 200°C.

#### **ocel 19 573 (SVERKER 21)**

Ocel byla zakalena při 1050°C s výdrží na teplotě 30 minut. Ochlazování proběhlo v oleji a při dosažení teploty 100°C byla ihned popouštěna. Popouštění proběhlo při teplotě 300°C .

**ocel 19 663**

Ocel byla zakalena při 840°C s výdrží na teplotě 30 minut. Ochlazování proběhlo v oleji a při dosažení teploty 100°C byla ihned popouštěna. Popouštění proběhlo při teplotě 180°C až 220°C dle dosažené výsledné tvrdosti.

**ocel 19 733**

Ocel byla zakalena při 890°C, ohřev na kalící teplotu byl bez přehřevu z důvodu značného oduhličení povrchové vrstvy. Kalení oceli proběhlo do oleje, výsledná tvrdost oceli byla po zakalení 59HRC. Po zakalení bylo zařazeno popouštění při 300°C.

**3.1.5. Identifikace vzorků**

Pro identifikaci a označování porovnávaných ocelí bude v textu i při popisu vzorků používáno nadále označení ocelí dle ČSN, to znamená číslem oceli, ne názvem oceli dodavatele.

Pro snadnou identifikaci byly vzorky mechanicky označeny, důlkem nebo zářezem. Zkušební tyče pro zkoušku vrubové houževnatosti byly navíc označeny pořadovým číslem vzorku.

ocel	označení
19 314	1 důlek nebo zářez
19 452	2 důlky nebo zářezy
19 550	3 důlky nebo zářezy
19 571	4 důlky nebo zářezy
19 573	5 důlků nebo zářezů
19 663	6 důlků nebo zářezů
19 733	7 důlků nebo zářezů

*Tab.11 Identifikace vzorků*

**3.2. Zkouška tahem**

Tahová zkouška byla provedena na zařízení FP-100-Labtest II umístěným v laboratoři katedry materiálu TU Liberec.

**3.2.1. Výsledky zkoušky tahem**

V této části byla provedena zkouška tahem na tepelně zpracovaných zkušebních tyčích (odst. 3.1.1.).

Hodnoty meze pevnosti naměřené na zkušebních tyčích byly porovnány s hodnotami uváděnými výrobcem, resp. s tabelovanými hodnotami. Z grafického průběhu, resp. z plochy pod diagramem tahové zkoušky byla pomocí software vypočítána hodnota tahové houževnatosti.

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky (tab.12).

Ocel	Mez pevnosti R <sub>m</sub> (naměřeno) [MPa]	Mez pevnosti R <sub>m</sub> (norma) [MPa]	Tahová houževnatost w [MJ/m <sup>3</sup> ]
19 314	2280	2000-2560	3,1
19 452	1920	1200-2480	1,9
19 550	2000	1580-2270	7
19 571	2200	2180-2660	3,4
19 573	1850	2180-2660	4,6
19 663	2370	1910-2120	6,2
19 733	2260	2100-2400	4

*Tab. 12 Hodnoty meze pevnosti a tahové houževnatosti*

### 3.2.2. Zhodnocení

Z hodnot meze pevnosti R<sub>m</sub> naměřených při tahové zkoušce lze konstatovat, že naměřené hodnoty odpovídají hodnotám uváděným výrobcem, resp. uvedenými v materiálových listech ocelí. Hodnoty se liší pouze u oceli 19 573, kdy byla naměřena hodnota nižší, a u oceli 19 663, kde byla naměřena hodnota vyšší než uváděná normou.

Hodnocení ocelí dle tahové houževnatosti W je pro posuzování ocelí pro nože důležitější než hodnota R<sub>m</sub>, neboť ukazuje schopnost materiálu absorbovat energii před jeho porušením.

Nejvyšší hodnotu vykazuje ocel 19 550 (7 MJ) a ocel 19 663 (6,2 MJ). Tyto oceli mají vhodné vlastnosti pro použití na nožové čepele. Nízké hodnoty tahové houževnatosti byly vypočítány u oceli 19 452 (1,9 MJ).

### 3.3. Zkouška vrubové houževnatosti

Byla provedena zkouška vrubové houževnatosti jednotlivých vzorků na přístroji Charpy s energií kladiva 300N, umístěném v laboratoři KMT TUL.

Pro tuto zkoušku byly použity 3 ks vzorků od každé porovnávané oceli, zkušební tyč s vrubem dle výkresu KMT-DP-02 Příloha 2.

Účelem zkoušky bylo u porovnávaných ocelí získání hodnot nárazové práce KU a tyto přepočítat na hodnoty vrubové houževnatosti KCU. Tyto hodnoty byly pak porovnány s hodnotami uváděnými výrobcem oceli a statisticky vyhodnoceny.

### 3.3.1. Výsledky zkoušky vrubové houževnatosti

Hodnoty nárazové práce KU naměřené při zkoušce byly zaneseny do tabulky (tab.8). Tyto hodnoty byly dále přepočítány na hodnotu vrubové houževnatosti a byla vypočítána průměrná hodnota.

$$KCU = KU \cdot S$$

KCU – vrubová houževnatost

KU – nárazová práce

S – plocha vzorku pod vrubem ( $0,8 \text{ cm}^2$ )

Výsledky byly uloženy do tabulky (tab.xx) a tabulka byla doplněna hodnotami KCU uváděnými výrobcem ocelí, resp.hodnotou uváděnou v materiálovém listu oceli.

#### Vzorky s vrubem dle výkresu KMT-DP-02

	Nárazová práce KU [J]					
ocel	Označení vzorku	KU [J]	Označení vzorku	KU [J]	Označení vzorku	KU [J]
19 314	1-1	6	1-2	6,5	1-3	7
19 452	2-1	10,5	2-2	8,5	2-3	8,5
19 550	3-1	23	3-2	24	3-3	24,5
19 571	4-1	6	4-2	5,5	4-3	5
19 573	5-1	7	5-2	6,5	5-3	7,5
19 663	6-1	21	6-2	22,5	6-3	22,5
19 733	7-1	12,5	7-2	10,5	7-3	12

Tab.13 Hodnoty nárazové práce



	<b>Vrubová houževnatost KCU [J/cm<sup>2</sup>]</b>							
ocel	Označení vzorku	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	Označení vzorku	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	Označení vzorku	KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	Průměr KCU [J/cm <sup>2</sup> ]	Hodnoty KCU udávané výrobcem [J/cm <sup>2</sup> ]
19 314	1-1	15	1-2	16	1-3	17	16	12-16
19 452	2-1	26	2-2	21	2-3	21	23	12-42
19 550	3-1	57	3-2	60	3-3	<b>61</b>	59	35-45
19 571	4-1	15	4-2	14	4-3	<b>13</b>	14	10-15
19 573	5-1	17	5-2	16	5-3	18	17	10-16
19 663	6-1	53	6-2	56	6-3	56	55	42-52
19 733	7-1	31	7-2	26	7-3	30	29	19-20

Tab.14 Hodnoty vrubové houževnatosti

### 3.3.2. Zhodnocení

Během zkoušky byly měřeny 3 tyče od každé porovnávané oceli. Z naměřených hodnot byla vypočítána průměrná hodnota vrubové houževnatosti.

U materiálů 19 550 a 19 663 byla naměřena vysoká hodnota vrubové houževnatosti. U obou ocelí byla naměřena hodnota o něco vyšší, než hodnota uváděná výrobcem, resp. hodnota tabelovaná.

Nízká hodnota vrubové houževnatosti byla naměřena u ocelí 19 571.

V příloze 6 je přiložena fotodokumentace makrosnímků lomových ploch. Vzhled lomových ploch koresponduje s naměřenými hodnotami během zkoušky. U vzorků 3-3 a 4-3 (nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota) byly pořízeny snímky struktury lomové plochy pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu (viz. odst. 3.7.).

### 3.4. Zkouška tvrdosti

Zkouška tvrdosti byla provedena na přístroji pro měření tvrdosti podle Rockwella v laboratoři Katedry materiálů. Zkouška byla provedena pro zjištění skutečné tvrdosti vzorků, které byly použity pro zkoušky. Při tepelném zpracování vzorků byl zadán požadavek na výslednou tvrdost všech vzorků 56-58 HRC.

### 3.4.1. Výsledky zkoušky tvrdosti

Tvrдост byla měřena na vzorcích pro zkoušku řezivosti a otupení a na zkušební tyči pro zkoušku vrubové houževnatosti. Na každém vzorku byly provedeny tři měření, naměřené hodnoty byly uloženy do tabulky.

Ocel	HRC							
	Čepel			průměr	Tyč			průměr
19 314	57	57	58	57	57	58	57	57
19 452	56	57	57	57	57	58	58	58
19 550	58	57	58	58	57	58	58	58
19 571	57	57	58	57	57	57	58	57
19 573	56	57	57	57	57	56	57	57
19 663	57	56	57	57	56	58	56	57
19 733	57	57	57	57	57	56	57	57

Tab.15 Naměřené hodnoty tvrdosti HRC

### 3.4.2. Zhodnocení

Při měření tvrdosti určených vzorků bylo měřením zjištěno, že měřené vzorky vykazují tvrdost v oblasti zadaných hodnot, to je 56 – 58 HRC. Zkouška tvrdosti je jednou z hlavních zkoušek při zpracování čepelí a je nezbytná pro celkové hodnocení vlastností nožových čepelí, neboť ukazuje na kvalitu provedení tepelného zpracování.

## 3.5. Zkouška řezivosti a otupení

V této části byla provedena zkouška řezivosti a otupení na přístroji určeném pro tuto zkoušku. Jako zkušební vzorek byla použita zkušební čepel dle výkresu KMT-DP-03 Příloha 3.

Zkouška byla provedena dle postupu v odst 2.2.4.

### 3.5.1. Výsledky zkoušky řezivosti a otupení

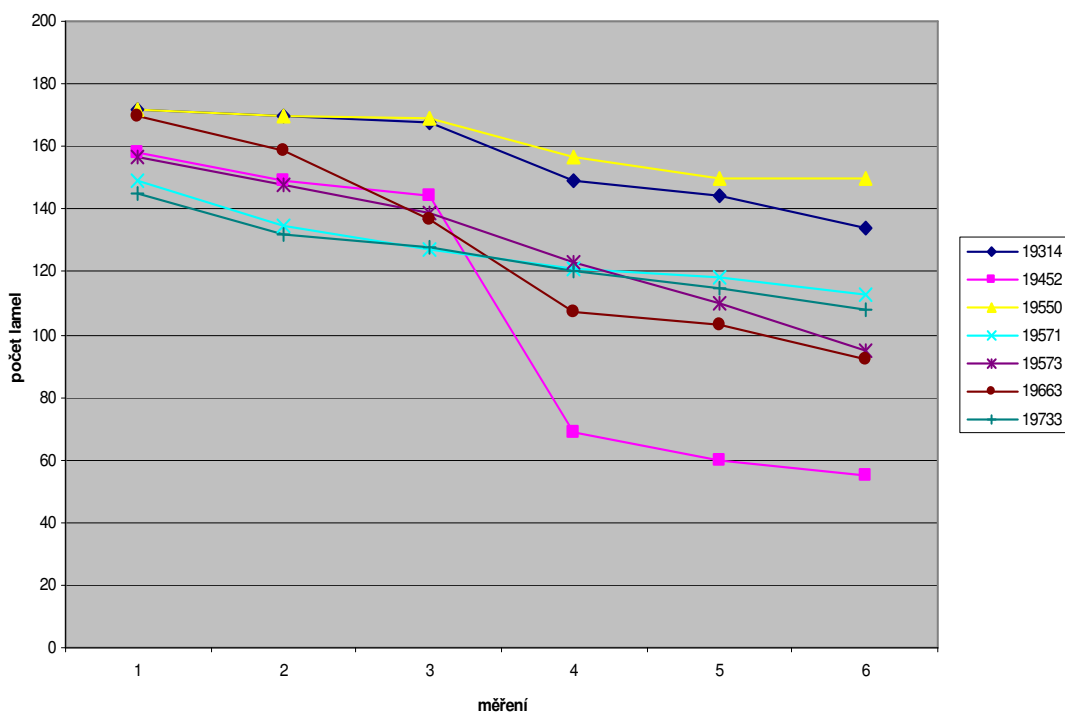
Naměřené hodnoty zkoušky řezivosti a otupení byly zaneseny do tabulky.

	Prořezané lamely (ks)			Hloubka řezu do lana (mm)			Prořezané lamely (ks)			Rozdíl prořez.lamel (ks)
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	
19 314	172	170	168	3,5	3	3	149	144	134	38
19 452	158	149	144	3,5	4	3,5	69	60	55	103
19 550	172	170	169	4	4	3,5	157	150	150	22
19 571	149	135	127	2,5	2	2,5	121	118	113	36
19 573	157	148	139	2,5	2,5	2,5	123	110	95	62
19 663	170	159	137	2,5	2	2,5	107	103	92	78
19 733	145	132	128	3,5	3,5	3	120	115	108	37

Tab.: 16 Hodnoty zkušebních řezů

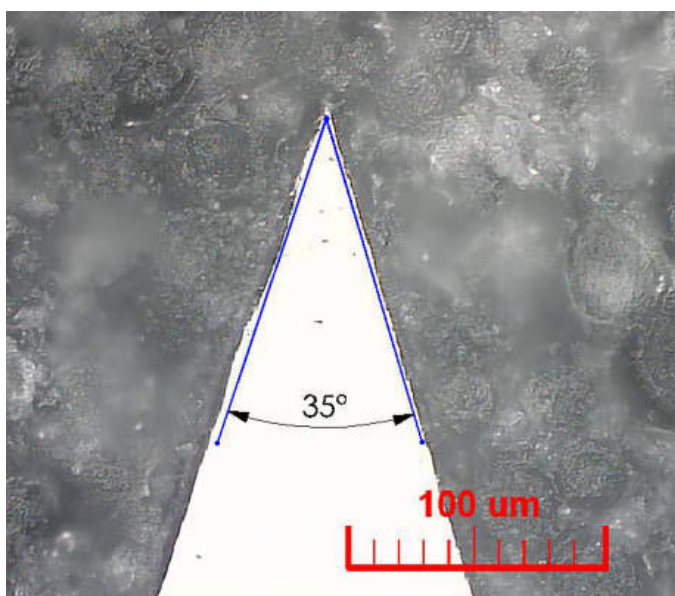
Naměřené hodnoty z prvního sloupce tab.16 je možné použít pro hodnocení řezivosti (odst.2.4.4).

Z naměřených hodnot počtu prořezaných lamel byl vypočítán rozdíl (tab.16). Tato hodnota udává velikost otupení ostří při zkoušce. Naměřené hodnoty byly pro přehlednost vloženy do grafu (obr.19)

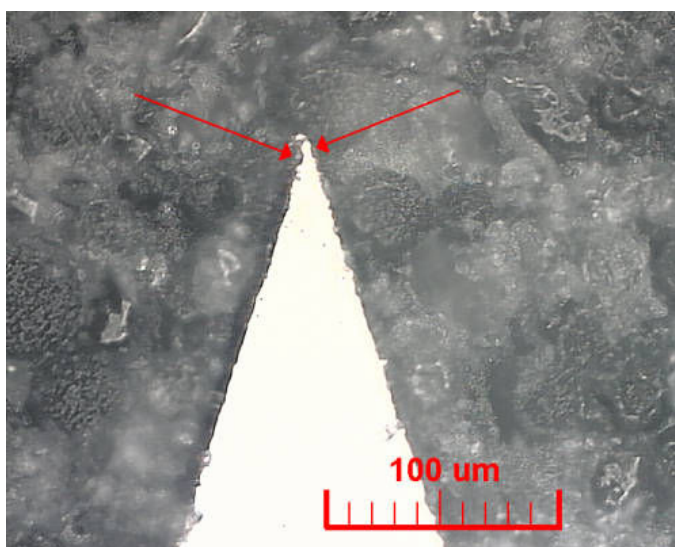


Obr.19 Grafické vyjádření zkoušky otupení

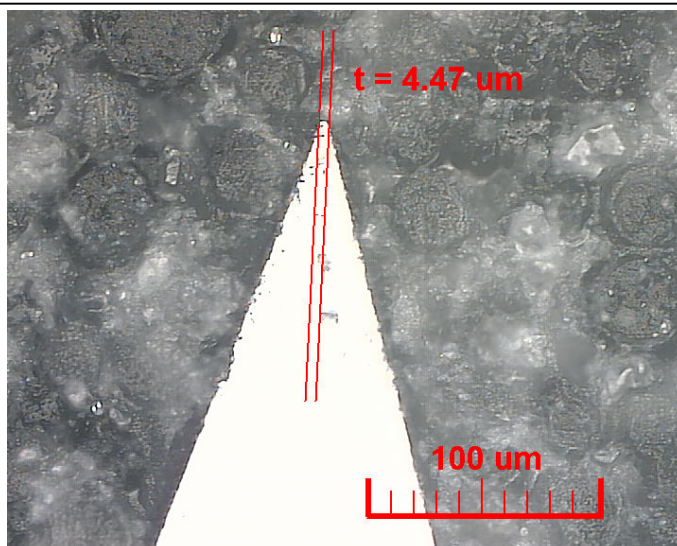
Všechny vzorky čepelí byly před zkouškou přebroušeny na brusce pomocí přípravku, aby byla dodržena geometrie ostří. Na metalografickém snímku obr.20 je řez naostřené čepule oceli 19 550. Všechny vzorky byly nabroušeny s vrcholovým úhlem ostří  $35^\circ$ , což je hodnota používaná pro čepule nožů pro hrubší práci. Na obr.23 je vyfotografováno otupené ostří oceli 19 452, na obr.22 je otupené ostří vzorku materiálu 19 663. Obr.21 ukazuje ostří zkušební čepule oceli 19 550 s naznačenými oblastmi abrazivního opotřebení bříty.



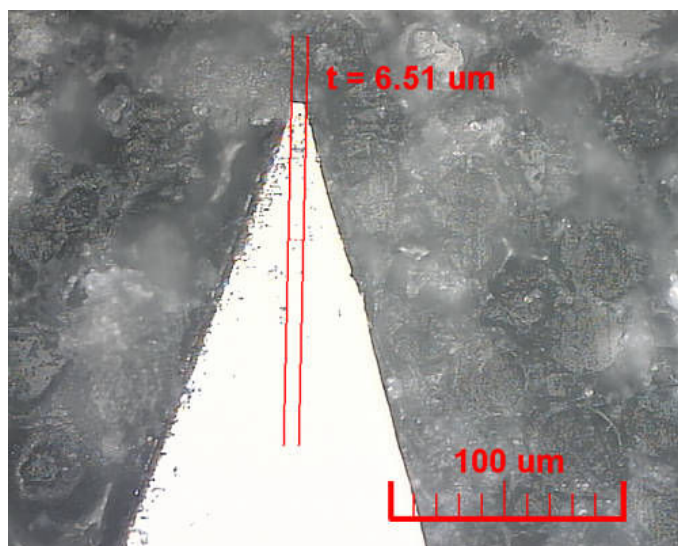
Obr.:20 Nabroušené ostří, ocel 19 550, bez leptu, 200x



Obr.:21 Abrazivní opotřebení ostří, ocel 19 550, bez leptu, 200x



Obr.: 22 Opotřebení břitu oceli 19 663, bez leptu, 200x



Obr.:23 Opotřebení břitu oceli 19 452, bez leptu, 200x

### 3.5.2. Zhodnocení

#### Hodnocení řezivosti

V tab. 16 jsou uvedeny oceli dle naměřených hodnot. Rozdíl v naměřených hodnotách (27 lamel x 0,1mm) ukazuje na stejnoměrné nabroušení ostří všech vzorků zkušebních čepelí.

#### Hodnocení otupení

Na snímku otupení obr.21 oceli 19 550 není měřitelné otupení, je znatelné pouze mírné abrazivní opotřebení na stranách ostří.

Na snímku otupení obr. 22 a obr. 23 je patrné opotřebení hrany ostří v hodnotách  $\mu\text{m}$ . Naměřené hodnoty korespondují s naměřenými hodnotami zkoušky otupení.

Nejlepší vlastnosti otupení vykazuje ocel 19 550 (rozdíl prořezaných lamel 22 ks), stejně tak i hodnoty řezivosti (172 lamel).

Dobré vlastnosti vůči otupení vykazují oceli 19 571 (36 lamel) a 19 733 (37 lamel) s plynulým nárůstem otupení během měření a z grafického vyjádření je patrné, že nejsou citlivé na změnu prořezávaného materiálu.

U oceli 19 663 dochází k prudšímu nárůstu otupení v oblasti prořezávání lana, u oceli 19 452 došlo v oblasti prořezávání lana k prudkému nárůstu otupení.

Jako oceli s nejlepšími vlastnostmi je možno považovat oceli 19 550, 19 733 a 19 571.

Nevyhovující vlastnosti se projevily u oceli 19 452.

Důležitější pro hodnocení čepele je měření otupení, které lépe ukazuje užité vlastnosti. Řezivost je možno v tomto případě považovat pouze za pomocnou zkoušku, která podává informaci o kvalitě broušení ostří.

### **3.6. Metalografické hodnocení vzorků**

V této fázi práce byla pozorována struktura materiálu po tváření za tepla a po tepelném zpracování. Dále byly pozorovány vzorky od zkoušky řezivosti a otupení.

Metalografické hodnocení vzorků ocelí bylo provedeno na mikroskopu NEOPHOT 32, na němž byly postupně pozorovány jednotlivé vzorky a byly pořízeny fotografie. Fotografie byly následně upraveny a doplněny popisy (měřítko, kóty) v programu Tescan Atlas 1040.

#### **3.6.1. Příprava a identifikace vzorků**

V jednotlivých fázích přípravy vzorků pro zkoušku řezivosti a otupení byly odebrány vzorky pro metalografické hodnocení:

Vzorky byly odříznuty rozbrušovací pilou s vodním chlazením, aby se zabránilo tepelnému ovlivnění struktury materiálu v blízkosti řezu. Každý vzorek byl odmaštěn a zalit zalévací hmotou VARIDUR 10. Jednotlivé vzorky byly označeny dle odst. 3.1.5. a byly doplněny pořadovou číslicí 1-4.

- 1 – vzorek materiálu po tváření za tepla
- 2 – vzorek materiálu po tepelném zpracování
- 3 – vzorek materiálu po zkoušce otupení

Broušení vzorků bylo provedeno na metalografické brusce PHOENIX 4000 s použitím brusných papírů zrnitosti 120, 320, 800. Konečné broušení bylo provedeno diamantovou disperzí s velikostí zrn 3 $\mu$ m a 1 $\mu$ m.

Některé vzorky byly použity bez leptu, některé byly leptány pro zviditelnění struktury materiálu. Pro zviditelnění struktury bylo použito leptadlo Nital 4% nebo kyselina pikrová 4%. Po naleptání byly vzorky očištěny, opláchnuty lihem a vysušeny.

### 3.6.2. Struktura materiálu po tváření za tepla

V této části byly hodnoceny vzorky po tváření za tepla (kováním). Byl pozorován okujený povrch a další jevy vznikající při tváření. Na toto pozorování byly použity vzorky bez leptu. U vzorků bylo provedeno měření tloušťky okujené vrstvy a vzniklých povrchových vad..

V další fázi byly vzorky naleptány kyselinou pikrovou a bylo pozorováno oduhličení povrchu materiálu vzniklé při tváření za tepla.

#### Vrstva okují

Vzorek 1-1 obr.4p-1	Okujená vrstva 82μm
Vzorek 2-1 obr.4p-2	Okujená vrstva 38μm
Vzorek 3-1 obr.4p-3	Okujená vrstva 131μm
Vzorek 4-1 obr.4p-4	Okujená vrstva 32μm, trhliny na povrchu do hloubky 35μm
Vzorek 5-1 obr.4p-5	Okujená vrstva 63μm
Vzorek 6-1 obr.4p-6	Okujená vrstva 14μm, narušený povrch do hloubky 23μm
Vzorek 7-1 obr.4p-7 ,obr.4p-8	Okujená vrstva 49μm, kavity do hloubky 23μm

Tab.: 17

#### Oduhličená vrstva

Vzorek 1-1 obr.4p-9	Deformovaná vrstva 33μm, oduhličená vrstva celkem 197μm
Vzorek 2-1 obr.4p-10	Oduhličená vrstva 120μm
Vzorek 3-1 obr.4p-11	Oduhličená vrstva 50μm, povrchové trhliny, kováno za nízké teploty
Vzorek 4-1 obr.4p-12	Mezikrystalické zkřehnutí, praskliny po hranicích zrn
Vzorek 5-1 obr.4p-13	Správné zpracování tvářením za tepla
Vzorek 6-1 obr.4p-14	Správné zpracování tvářením za tepla

Tab.: 18

Metalografické snímky vzorků jsou umístěny v příloze 4.

### 3.6.2.1. Zhodnocení

U všech vzorků byla pozorována vrstva okují tloušťky od 14μm až do 131μm. U některých vzorků byly pozorovány povrchové defekty-trhliny (vzorek 4-1, obr.4p-4) a kavity (vzorek 7-1, obr.4p-8).

U naleptaných vzorků byla pozorována deformovaná vrstva a oduhličená vrstva. U vzorku 4-1, obr.4p-12 byly pozorovány mezikrystalické poruchy.

Výsledky pozorování ukazují na nutnost odstranění dostatečně silné povrchové vrstvy (okují a oduhličené vrstvy) tloušťky od 40μm až 300μm. Běžně je broušením odstraňována vrstva minimálně 0,5 mm pro dosažení materiálu, který nebyl ovlivněn (oduhličen, narušen) během tváření za tepla.

### 3.6.3. Struktura materiálu po tepelném zpracování

V této fázi byla pozorována struktura materiálu po tepelném zpracování. Účelem pozorování bylo posouzení provedení tepelného zpracování, oduhličení povrchové vrstvy a posouzení základní struktury materiálu.

Pro toto pozorování byly použity vzorky materiálu naleptané pro zviditelnění struktury materiálu Nítalem 4% nebo kyselinou pikrovou 4%.

#### 3.6.3.1. Zhodnocení

Po pozorování bylo vyhodnoceno provedení tepelného zpracování:

- vzorek 1-2, obr.5p-1 : správně kaleno, zřetelná martenzitická struktura. Povrch není ovlivněn tepelným zpracováním
- vzorek 2-2, obr.5p-2 : správně tepelně zpracováno, patrná sorbitická struktura
- vzorek 3-2, obr.5p-3 : správně tepelně zpracováno, jemná struktura sorbitu ukazující na vysokou houževnatost materiálu
- vzorek 4-2, obr.5p-4 : správně tepelně zpracováno, velmi jemná struktura ukazuje na houževnatý materiál, karbidická řádkovitost
- vzorek 5-2, obr.5p-5: správně tepelně zpracováno, struktura s rozptýlenými karbidy, vrstva okují po tepelném zpracování
- vzorek 6-2, obr.5p-6 : správně tepelně zpracováno, transformovaný martenzit, přehřátá vrstva při broušení tloušťky 90μm
- vzorek 7-2, obr.5p-7 : správně tepelně zpracováno, struktura s rozptýlenými karbidy, houževnatý materiál, povrchová vrstva neovlivněná tepelným zpracováním

Na základě pozorování vzorků tepelně zpracovaného materiálu lze konstatovat, že tepelné zpracování bylo provedeno správně.



### 3.7. Mikrofraktologická analýza lomových ploch

Při této analýze byl použit rastrovací elektronový mikroskop firmy TESCAN, typ VEGA, umístěn na textilní fakultě TU v Liberci.

Mikrofraktografická analýza se zabývá zkoumáním povrchových lomů elektronovou mikroskopií. Cílem této analýzy je určení příčin a mechanismů lomu. Vlastní analýza spočívá v identifikaci iniciace a šíření lomu a kvantitativního vyhodnocení povrchu lomu. Získané poznatky se konfrontují s výsledky mechanických zkoušek.

Podle mechanismu porušování můžeme rozdělit lomy na štěpné (křehké) lomy a tvárné lomy. V obou případech se lom může šířit transkrystalicky (lomová plocha prochází jednotlivými zrny) nebo interkrystalicky (lomová plocha prochází po hranicích zrn).

#### 3.7.1. Princip činnosti rastrovacího elektronového mikroskopu

Činnost rastrovacího elektronového mikroskopu (REM, SEM) je založena na použití úzkého svazku elektronů emitovaných ze žhavené katody a urychlovaných v elektronové trysce tvořené systémem katoda - anoda. Paprsek je dále zpracován elektromagnetickými čočkami a je rozmítán po povrchu pozorovaného objektu. Synchronně s tímto svazkem elektronů je rozmítán elektronový svazek paprsku v pozorovací obrazovce.

Interakcí elektronového svazku s povrchem pozorovaného objektu vznikají sekundární elektrony (zároveň s fotony, odraženými elektrony, aj.). Tyto po detekci a zesílení modulují jas elektronového paprsku v pozorovací obrazovce, takže na obrazovce vznikne obraz odpovídající povrchu pozorovaného vzorku.

Rozlišovací schopnost mikroskopu je dána známou rovnicí

$$\Delta = \frac{\lambda}{n \cdot \sin \alpha}$$

kde:  $\lambda$  je vlnová délka použitého záření [nm],  $n \cdot \sin \alpha$  je numerická apertura

Rozlišovací schopnost se u SEM pohybuje podle použitého urychlovacího napětí a zvětšení řádově v  $10^1$  [nm]. Zvětšení mikroskopu  $Z_m$  je přitom dáno poměrem rozlišení na obrazovce a rozlišení vztaženého na předmět (stopy elektronového paprsku na preparátu).

$$Z_m = \frac{d_o}{d_p}$$

kde:  $d_o$  [m] je rozlišení na obrazovce,  $d_p$  [m] je rozlišení vztažené na předmět.

Užitečné zvětšení mikroskopu vychází řádově  $10^3 - 10^4$ .

#### 3.7.2. Příprava a pozorování lomových ploch

Pro toto pozorování byly vybrány vzorky, které byly porušeny při zkoušce vrubové houževnatosti.

Vzorky pro pozorování mikroskopem byly odřezány ze zkušební tyče tak, aby nedošlo k poškození v místě pozorování. Následně byly vzorky čištěny v acetonové lázni ultrazvukovou čističkou. Poté bylo provedeno vlastní pozorování při různých zvětšeních mikroskopu.

Pro pozorování charakteru porušení byly odebrány následné vzorky:

- vzorek z tyče materiálu 19 550 číslo 3-3
- vzorek z tyče materiálu 19 571 číslo 4-3

Vzorek 3-3 vykázal při zkoušce vrubové houževnatosti nejvyšší hodnotu, naopak vzorek 4-3 vykázal hodnotu nejnižší.

Každý vzorek byl pozorován při zvětšení 400x a 1000x.

Pořízená fotodokumentace lomových ploch je zobrazena na obr. xxxxxxxx a je součástí přílohy 7.

### 3.7.3. Zhodnocení

Ze snímků je patrný rozdíl lomové plochy jednotlivých vzorků. Větší míra plastické deformace u vzorku 3-3 koresponduje s vyšší hodnotou vrubové houževnatosti naměřené při zkoušce.

## 3.8. Komplexní hodnocení

### 3.8.1. Návrh komplexního hodnocení

komplexní hodnocení by mělo zahrnovat zkoušky a měření, pomocí kterých je možno posoudit celkové vlastnosti zkoušené oceli.

Do hodnocení by měly být zařazeny tyto zkoušky:

tahová zkouška :

nejdůležitějším údajem této zkoušky je tahová houževnatost, kterou lze vypočítat z tahového diagramu, resp. plochy pod diagramem. Tato zkouška ukazuje houževnatost při statickém namáhání.

provedení zkoušky:

pro zkoušku je nutno vyrobit zkušební tyč, tepelně ji zpracovat na hodnotu tvrdosti 56-58 HRC a provést zkoušku tahem. Z diagramu vypočítat tahovou houževnatost  $w[\text{MJ/m}^3]$ .

Zkouška vrubové houževnatosti

Hodnota vrubové houževnatosti udává odolnost materiálu proti porušení při zatížení rázem, tzn. při dynamickém namáhání. Jelikož jsou nástrojové oceli velice citlivé na vruby a povrchové vady, je tato zkouška velmi důležitá.

Provedení zkoušky:

pro tuto zkoušku je nutno vyrobit zkušební tyč a provést zkoušku vrubové houževnatosti na Charpyho kladivu. Zkouškou se určí hodnota rázové práce KU [J] a vypočítá se hodnota vrubové houževnatosti KCU [ $\text{J/cm}^2$ ].

### Měření tvrdosti

Zkouška nutná pro ověření hodnot tvrdosti po tepelném zpracování. Nejvhodnější hodnoty tvrdosti jsou 56-58 HRC.

Provedení zkoušky:

měří se tepelně zpracovaný vzorek oceli na tvrdoměru Rockwell, neboť tato metoda je nejvhodnější pro svoji jednoduchost. Hodnotu tvrdosti je třeba kontrolovat už během tepelného zpracování při popouštění.

### Měření řezivosti a otupení

Tato zkouška ukazuje na řezné vlastnosti oceli. Zkouškou řezivosti ověřujeme jakost nabroušení ostří, zkouška otupení ukazuje odolnost oceli proti abrazivnímu opotřebení.

Provedení zkoušky:

zkouška se provádí na přístroji, u zkoušky řezivosti se měří počet proříznutých lamel při prvním řezu, u zkoušky otupení se provede postupně několik řezů do lamel, potom řezy do lana a opětovně do lamel. Hodnotí se rozdíl proříznutých lamel mezi prvním a posledním řezem.

### Metalografie

Tímto pozorováním zkoumáme správné tepelné zpracování oceli, oduhličení povrchu, povrchové vady a hlavně výslednou strukturu materiálu.

Provedení zkoušky:

ke zkoušce je nutno připravit metalografický vzorek a na metalografickém mikroskopu vzorek vyhodnotit.

Výsledky těchto zkoušek jsou hodnoceny známkou 1 - 4.

### Doplňkové hodnocení

- cena oceli – nákupní cena polotovaru . Ceny jsou rozděleny do 4 kategorií:

1. cena do 50,- Kč/kg
2. cena 50 – 100,- Kč/kg
3. cena 100 – 200,- Kč/kg
4. cena 200,- Kč/kg a více

- dostupnost oceli – důležité pro opakovanou výrobu. Dostupnost je rozdělena pouze do dvou kategorií: 1. oceli, které jsou v ČR skaldem a jejich dodací lhůta je do týdne

2. oceli dovážené ze skladů mimo ČR, dodací doba 2 – 4 týdny.

- tvářitelnost za tepla – obtížnost při kování, náchylnost k přehřátí a praskání. Tvářitelnost za tepla kováním je zde hodnocena dle posudku kováře, který zpracovával vzorky. Detailnější hodnocení je možné až u vícekusové série.

- nároky na tepelné zpracování – kalící teploty, zařízení.

Tyto zkoušky a doplňková hodnocení mohou ukazovat na celkové užité vlastnosti, je možné podle nich volit kompromisní a nejlépe vyhovující řešení pro výrobu.

### 3.9.2. Komplexní hodnocení zkoušených ocelí

V této části jsou vyhodnoceny jednotlivé zkoušky a měření a je stanoveno vhodné použití jednotlivých ocelí.

	<b>19 314</b>	<b>19 452</b>	<b>19 550</b>	<b>19 571</b>	<b>19 573</b>	<b>19 663</b>	<b>19 733</b>
Tahová houževnatost [MJ/m <sup>3</sup> ]	3,1	1,9	7	3,4	4,6	6,2	4
hodnocení	2	3	1	2	2	1	2
Vrubová houževnatost [J/cm <sup>2</sup> ]	16	23	59	14	17	55	29
hodnocení	3	2	1	3	3	1	2
Tvrdost HRC	57	57	58	57	57	57	57
Řezivost [ks]	172	158	172	149	157	170	145
hodnocení	1	2	1	2	2	1	2
Otupení [ks]	38	103	22	36	62	78	37
hodnocení	2	4	1	2	3	3	2
Doplňková hodnocení							
Cena [Kč/kg]	88	37	235	162	185	59,50	54
hodnocení	2	1	4	3	3	2	2
Dostupnost hodnocení	1	1	2	3	4	1	2
Tvářitelnost hodnocení	3	1	2	3	4	1	2
Náročnost TZ	810°	840°	950°	950°	1050°	840°	890°
hodnocení	1	2	3	3	4	2	2

*Tab.:19 Hodnoty komplexního hodnocení*

Komplexním hodnocením byly porovnávány oceli rozděleny do několika skupin.

#### 1.skupina – ocel 19 550

ocel s nejlepšími výsledky zkoušek a měření, ovšem s nejvyšší nákupní cenou a horší dostupností. Ocel je vhodná na velmi kvalitní nože.

#### 2.skupina – ocel 19 663 a 19 733

oceli s velmi dobrými vlastnostmi, které tvoří kombinace mechanických hodnot, ceny a dostupnosti. Oceli vhodné na nože pro běžné používání.

3.skupina – ocel 19 314, 19 571, 19 573

oceli s nevyrovnanými vlastnostmi,

19 314 – nízká houževnatost, dobrá odolnost proti otupení, nízká cena

19 571, 19 573 – nízká houževnatost, vysoká cena

4.skupina – ocel 19 452

ocel s nízkými hodnotami mechanických vlastností, s nízkou odolností proti otupení, ale s velmi nízkou cenou. Tato ocel není příliš vhodná na výrobu zakázkových nožů.

## 4. Diskuse výsledků

V rámci této diplomové práce bylo provedeno několik druhů zkoušek a měření. Úkolem této kapitoly je stručné shrnutí zjištěných výsledků zkoušek provedených na zkoumaných vzorcích.

### Zkušební vzorky, tepelné zpracování

Příprava zkušebních vzorků byla provedena zkušenými řemeslníky dle výkresů s důrazem na rozměry a jakost povrchu. Tepelné zpracování bylo svěřeno odborné firmě, aby byly zaručeny požadované vlastnosti zkušebních vzorků. Byla požadována tvrdost 56-58 HRC, což je optimální hodnota pro nožové čepele. Měřením tvrdosti bylo potvrzeno správné tepelné zpracování vzorků.

### Tahová zkouška

Naměřené hodnoty  $R_m$  odpovídaly hodnotám uváděnými výrobcí, pouze u oceli 19 573 a 19 663 byly naměřené hodnoty mírně odlišné. Z diagramu tahové zkoušky se dá pomocí vhodného software vypočítat hodnota tahové houževnatosti.

### Zkouška vrubové houževnatosti

Pro zkoušku byly použity tyče o rozměrech 10x5x55 mm, vyrobené z vykovaneho polotovaru. Hodnoty vrubové houževnatosti KCU vypočítané z nárazové práce KU odpovídaly hodnotám, které uvádí výrobci. Pouze u oceli 19 550 se hodnoty lišily, naměřené hodnoty byly vyšší.

### Metalografie

Při metalografickém pozorování byly měřeny tloušťky vrstvy okují, oduhličené vrstvy a rozměry povrchových vad. Z tohoto pozorování vyplývá, že je nutné odebrat dostatečně silnou vrstvu (0,5 mm) pro dosažení neporušeného materiálu.

### Faktografická analýza

Snímky, pořízené při fraktografické analýze a snímky lomových ploch potvrdily, že vzhled lomových ploch vzorků koresponduje s naměřenými hodnotami.

### Zkouška řezivosti a otupení

Pro zkoušku byly vyrobeny zkušební čepele o délce 200mm, zkušební délka byla 130 mm. Pro tuto zkoušku je nutné správné nabroušení ostří, což bylo zabezpečeno použitím přípravku na broušení. Při samotné zkoušce je velmi nutné dodržet kinematiku řezu, jinak může dojít k větším odchylkám v měření. Měření řezivosti (počet lamel proříznutých nabroušeným ostřím) ukazuje kvalitu nabroušení ostří, měření otupení pak podstatnější

## 5. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnat vlastnosti vybraných nástrojových ocelí vhodných pro nožířské použití. Z tohoto důvodu bylo potřeba navrhnout způsob hodnocení porovnávaných ocelí, připravit sady zkušebních vzorků a prověřit jejich vlastnosti.

Teoretická část má čtyři fáze. V první fázi jsou uvedeny základní a obecné vlastnosti nástrojových ocelí, druhá fáze je zaměřena na tepelné zpracování nástrojových ocelí, třetí fáze pojednává o ocelích pro nožířské použití a ve čtvrté fázi jsou navrženy zkoušky na porovnání vybraných ocelí.

Experimentální část této práce obsahuje konkrétní měření a experimenty prováděné na zkušebních vzorcích. V této části byly provedeny následující zkoušky a měření:

- tahová zkouška
- zkouška vrubové houževnatosti
- měření tvrdosti
- zkouška řezivosti a otupení
- metalografie tváření za tepla a tepelného zpracování
- faktografická analýza lomových ploch

Z provedených zkoušek a měření bylo sestaveno komplexní hodnocení porovnávaných ocelí.

Z dosažených výsledků lze konstatovat:

- při tahové zkoušce a při zkoušce vrubové houževnatosti vykazaly nejvyšší hodnoty oceli 19 550 a 19 663. U těchto ocelí byla pozorována velmi jemná struktura materiálu (sorbit). U ocelí 19 573 a 19 733 byly naměřeny nižší hodnoty, u těchto ocelí byla pozorována karbidická struktura, která dává oceli nižší houževnatost. U oceli 19 571 s nízkou tahovou i vrubovou houževnatostí byla pozorována karbidická řádkovitost, která měla pravděpodobně vliv na horší vlastnosti oceli.
- při měření tvrdosti byly naměřeny hodnoty v požadovaném rozmezí, toto zadané kritérium bylo splněné
- při zkoušce řezivosti a otupení bylo dosaženo nejlepších výsledků u oceli 19 550, nejnižší hodnoty byly naměřeny u oceli 19 452. Pro získání přesnějších výsledků zkoušky by bylo vhodné navrhnout takový postup, kterým by bylo možné měřit vlastnosti ostří po delší dobu. Použitá metodika zkoušení je navržena na porovnávání naostřených čepelí, ale není pro zdoluhavost zkoušky možné sledovat průběh, resp. hodnoty otupení při delším používání a tím určit přesnější řezné vlastnosti oceli.
- metalografie po tváření za tepla potvrdila nutnost odstraňování dostatečně silné povrchové vrstvy, kterou tvoří okuje a oduhličená vrstva, u některých ocelí byly pozorovány i povrchové vady. Tuto vrstvu je nutno odstranit správným broušením, aby nedošlo znovu k tepelnému ovlivnění povrchové vrstvy.

- v komplexní hodnocení byly porovnávané oceli rozděleny do 4 skupin. Jako nejlepší, i když i nejvyšší cenou, byla vyhodnocena ocel 19 550, která prokázala výborné vlastnosti ve všech zkouškách. Ve 2.skupině jsou zařazeny oceli s dobrými vyrovnanými vlastnostmi a to včetně ceny. Sem patří oceli 19 663 a 19 733. Ve 3. skupině jsou zařazeny oceli s nevyrovnanými vlastnostmi, a to 19 314, 19 571 a 19 573. Ve 4. skupině je zařazena ocel 19 452, která vy kázala nejhorší vlastnosti.

Při výrobě zakázkových nožů hraje důležitou roli i řemeslné zpracování. V kombinaci materiálu s výbornými vlastnostmi a řemeslného umu lze vytvořit nástroj, který má nejen vysoké užité vlastnosti, ale velmi často se stává vyhledávaným zbožím pro sběratele.



## 6. Seznam literatury

- [1] Fremunt P., Krejčík J., Podrábský T.: Nástrojové oceli, Dům techniky Brno, 1994
- [2] Nožířské listy, Občasník Technického muzea Brno, č.3/1996
- [3] Krejčík J.: Nástrojové oceli a jejich tepelné zpracování, STÚM Praha, 1993
- [4] Drastík F., Beneš A.: Atlas použití kovů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980
- [5] Pluhař J., Koritta J.: Strojírenské materiály, SNTL Praha, 1977
- [6] Hluchý M., Modráček O.: Strojírenská technologie díl 2., Scientia Praha, 1997
- [7] Ryš J. a kol.: Nauka o materiálu I/4, Academia Praha, 1975
- [8] Černoch S.: Strojně technická příručka, SNTL Praha, 1968
- [9] Janyš B., Glanc F.: Dílenské tabulky, SNTL Praha, 1976
- [10] [www.jkz.cz](http://www.jkz.cz)
- [11] [www.knife.cz](http://www.knife.cz)

## 7. Přílohy

Příloha 1 Výkres zkušební tyče pro zkoušku tahem č.v. KMT-DP-01

Příloha 2 Výkres zkušební tyče pro zkoušku vrubové houževnatosti č.v.KMT-DP-002

Příloha 3 Výkres zkušební čepele pro zkoušku řezivosti a otupení č.v.KMT-DP-003

Příloha 4 Fotodokumentace pořízená po tváření za tepla

Příloha 5 Fotodokumentace pořízená po tepelném zpracování

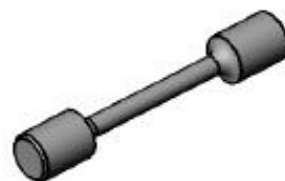
Příloha 6 Fotodokumentace lomových ploch po zkoušce vrubové houževnatosti a při fraktografické analýze

Příloha 7 Grafické znázornění zkoušky tahem

Příloha 8 Materiálové listy zkoušených ocelí a atesty dodavatelů

# **Příloha 1**

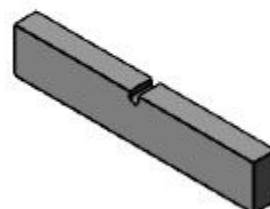
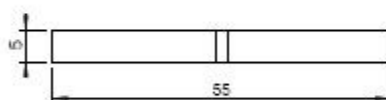
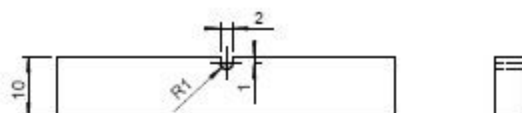
**Výkres zkušební tyče pro zkoušku tahem  
č.v. KMT-DP-01**



POLOŽKA:	MATERIÁL:	KODICE:	TEPLOTNÍ ZPRACOVÁNÍ			TRIDA ODPADU:	HODNOTY:
		POLOTOVINA:	POVrchová úprava:	HODNOTA (mm):	PRŮVLOK (mm):		
MĚŘENÍ:  1:1	KRÁJKA:	HEVERA M	CNR:	9.5.2007	MĚŘENÍ:  _____	DŮLEŽITOST:  _____	HODNOTY:  _____
	KODOVÁNÍ:		TOLERANCE:				
	PRŮVLOK:						
	KOD. REP.:	BOHÁLE:					
	VÝROBA:	CNR:					
TYP:		PROVEDENÍ:	STAV VÝROBY:			HODV VÝROBY:	
NÁZEV:  ZKUŠEBNÍ JYČ PRO ZKOUŠKU TAHEM			CÍL VÝROBY:  KMT-DP-01				
POČET LAM: 1			LST: 1				

## **Příloha 2**

**Výkres zkušební tyče pro zkoušku  
vrubové houževnatosti  
č.v. KMT-DP-02**

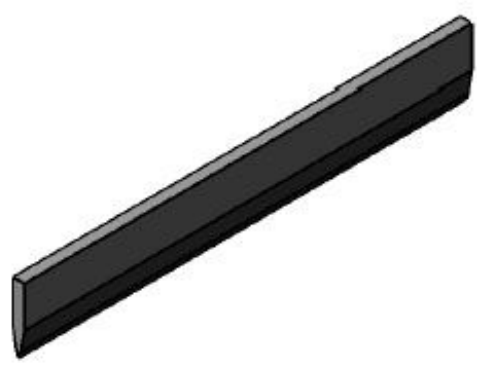
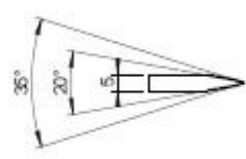
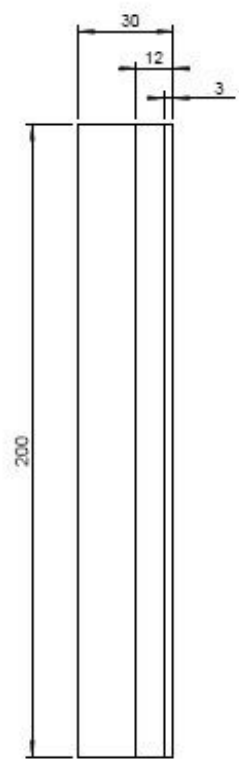


POLOŽKA:	MATERIÁL:	ROZMĚR:	TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ:			TŘÍDA ODPADOVÝ:	KVALITA:		
		POLOTOVAR:	POVRCHOVÁ TVRDOST:	HLADKOST (μm):	PEVNOST MPa:				
MĚŘÍTKO: <b>1:1</b>	SKRTEL:	HEVERA M.	DNÍ:	9.5.2007	SEŘAD: _____ _____ _____ _____ _____	DĚLITEL: _____ _____ _____ _____ _____	POČET: _____ _____ _____ _____ _____	MĚRO: _____ _____ _____ _____ _____	
	ROZKROV:		TOLERANCE:						
	PŘÍPOJKA:								
	ROZMĚRY:		SOVĚTA:						
	VÝROBA:		DNÍ:						
TYP:		PROVEDENÍ:	STAV VÝROBY:			KONT. VÝROBY:			
NÁZEV: <b>ZKUŠEBNÍ TYČ S VRUBEM</b>		POČET LISTŮ: 1			LIST: 1			CÍLO VÝROBY: <b>KMT-DP-02</b>	

## **Příloha 3**

**Výkres zkušební čepel pro zkoušku  
řezivosti a otupení  
č.v. KMT-DP-03**

1,6/

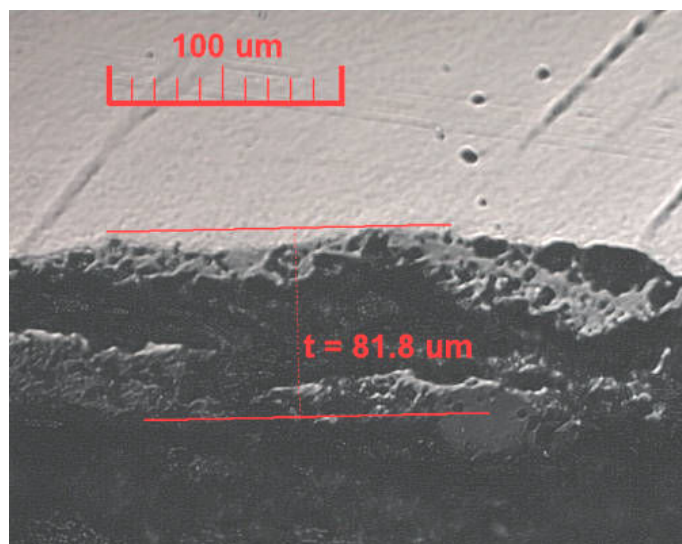


POLŮČKA:	MATERIÁL:	ROZMĚR:	TEPELNÁ ZPRACOVÁNÍ			TRŽDA OPRAVKU:	KVALITIVITA:	
		POLYTOVAR:	POVRCHOVÁ TVRDOST:	HL. DĚLNÍK (mm):	PEVNOST MPa:			
MĚŘITEL:  1:2	VERZE:	HEVERA M	DNE:	9.5.2007	ZMĚNA: _____ _____ _____ _____	DATUM: _____ _____ _____ _____	POČET: _____ _____ _____ _____	MÍSTO: _____ _____ _____ _____
	KONTROVAL:	TOLERNANCE:						
	PŘEDKONTROL:							
	KOM. REF.:	SOCHA:						
	VÝROBA:	DNE:						
TYP:		PROVEDENÍ:	STAV VÝROBY:		NOST VÝROBY:			
NÁZEV:  ZKUŠEBNÍ ČEPEL		CÍL VÝROBY:  KMT-DP-03						
POČET LST: 1		LST: 1						

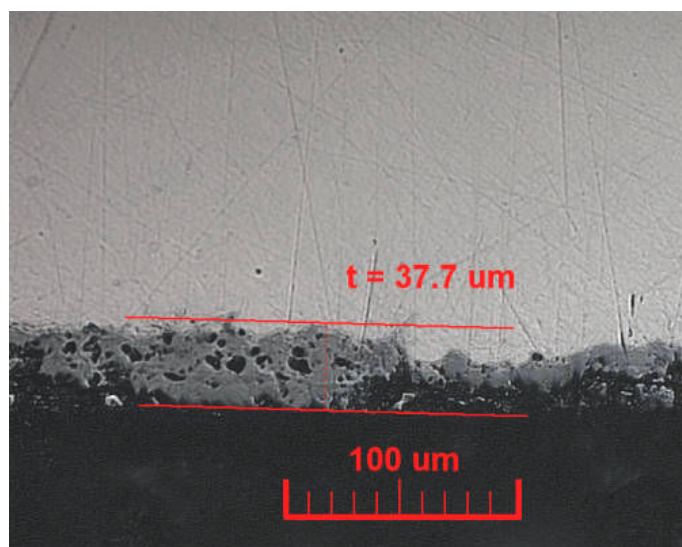


## **Příloha 4**

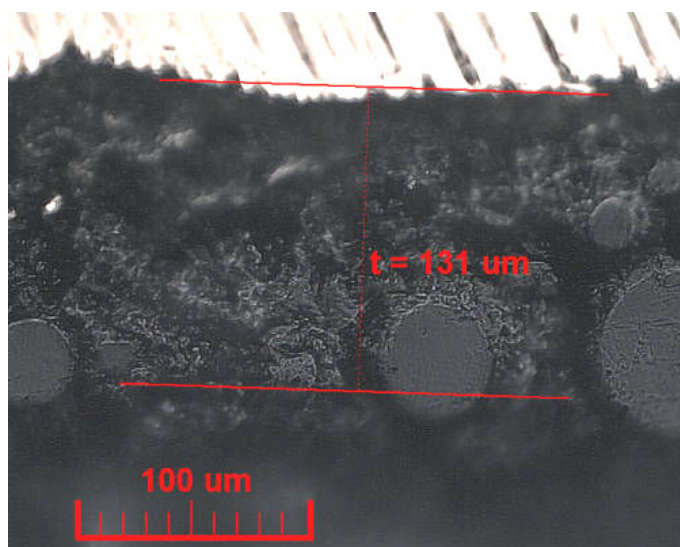
**Fotodokumentace pořízená po tváření za tepla**



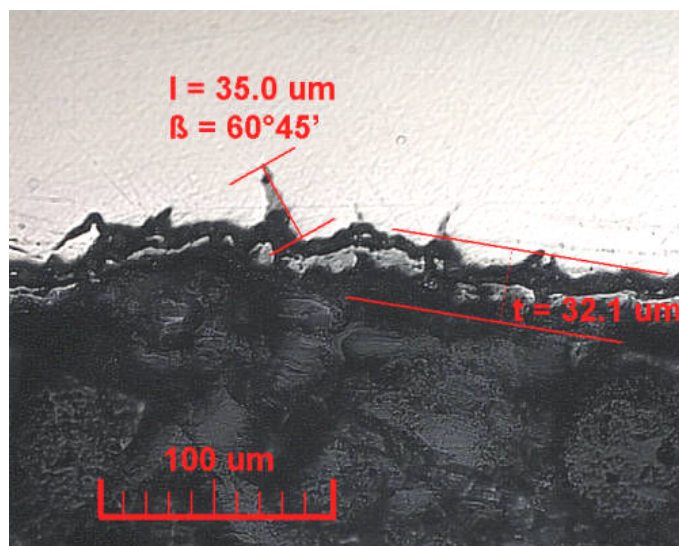
*Obr. 4p-1 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 1-1, ocel 19314, bez leptu, 200x*



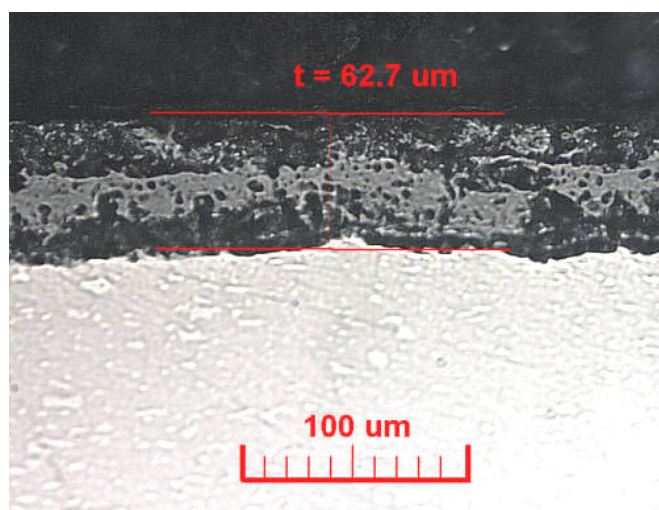
*Obr. 4p-2 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 2-1, ocel 19452, bez leptu, 200x*



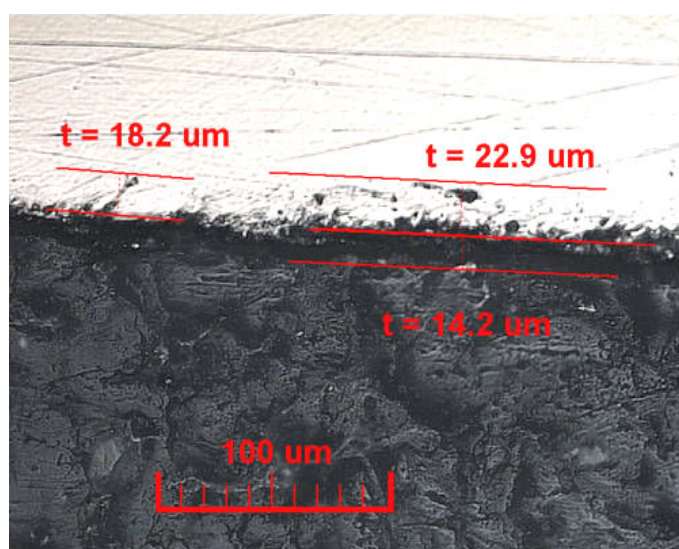
*Obr. 4p-3 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 3-1, ocel 19550, bez leptu, 200x*



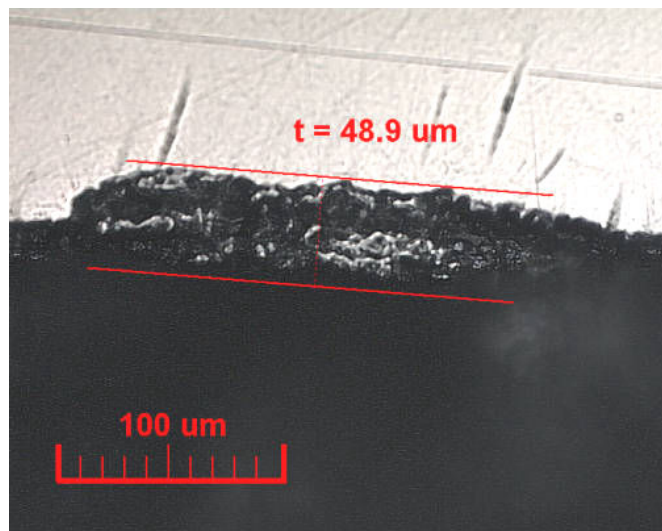
Obr. 4p-4 Vrstva okují po tváření za tepla, narušený povrch, vzorek 4-1, ocel 19571, bez leptu, 200x



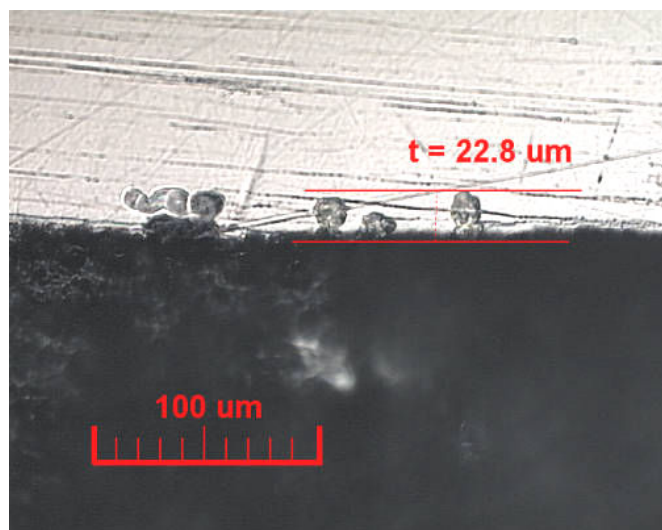
Obr. 4p-5 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 5-1, ocel 19573, bez leptu, 200x



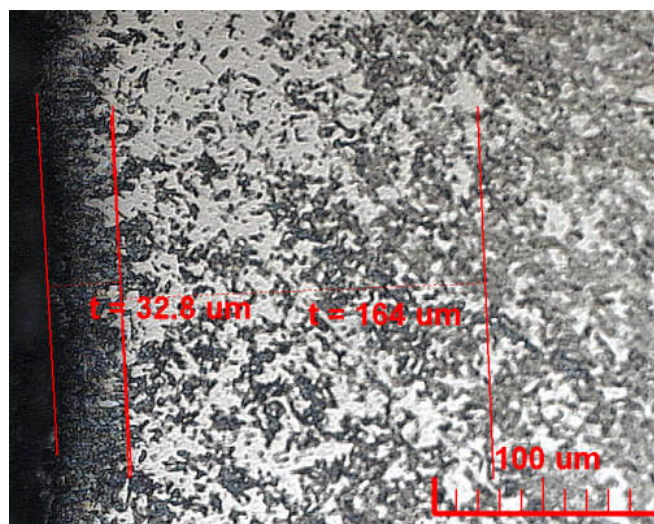
Obr. 4p-6 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 6-1, ocel 19663, bez leptu, 200x



Obr. 4p-7 Vrstva okují po tváření za tepla, vzorek 7-1, ocel 19733, bez leptu, 200x

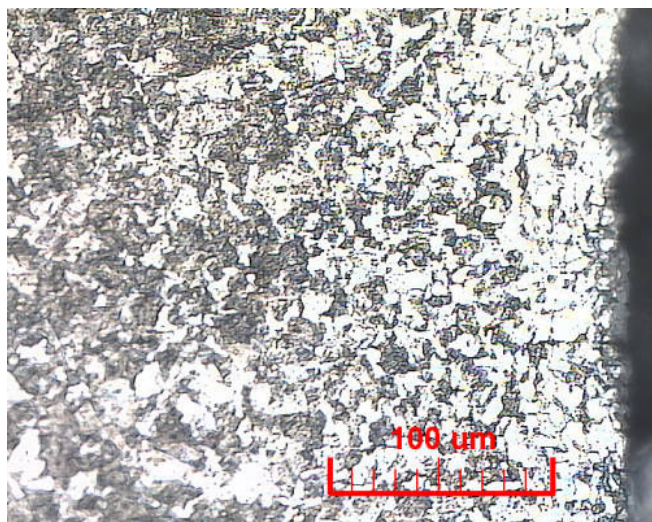


Obr. 4p-8 Vrstva okují po tváření za tepla, kavity, vzorek 7-1, ocel 19733, bez leptu, 200x

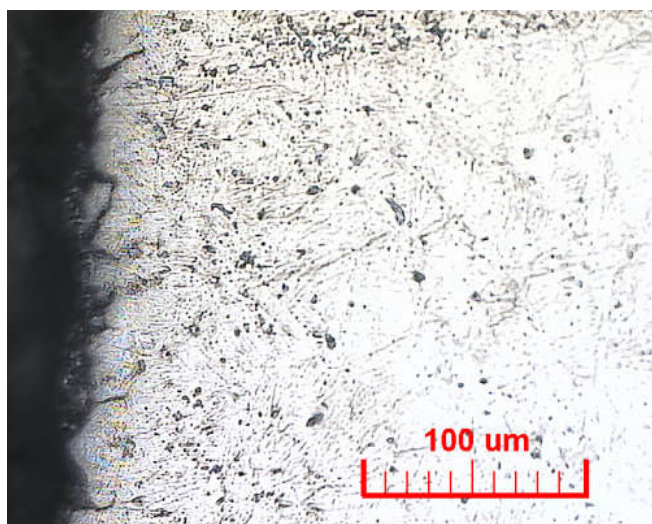


Obr. 4p-9 Tvářená a oduhličená vrstva, vzorek 1-1, ocel 19314, kyselina pikrová 4%, 200x

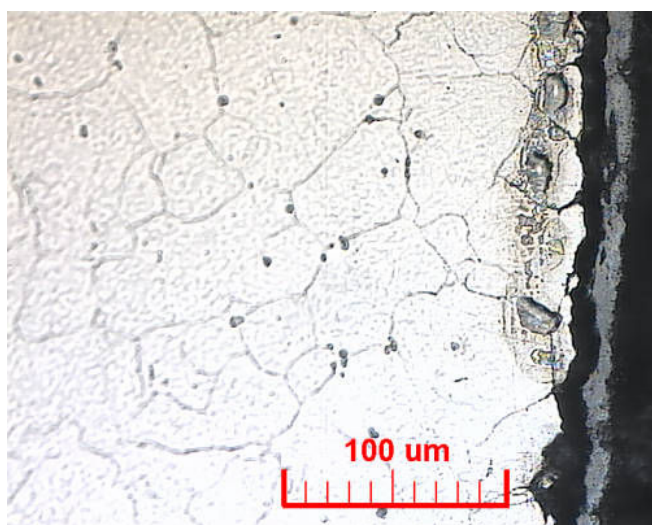




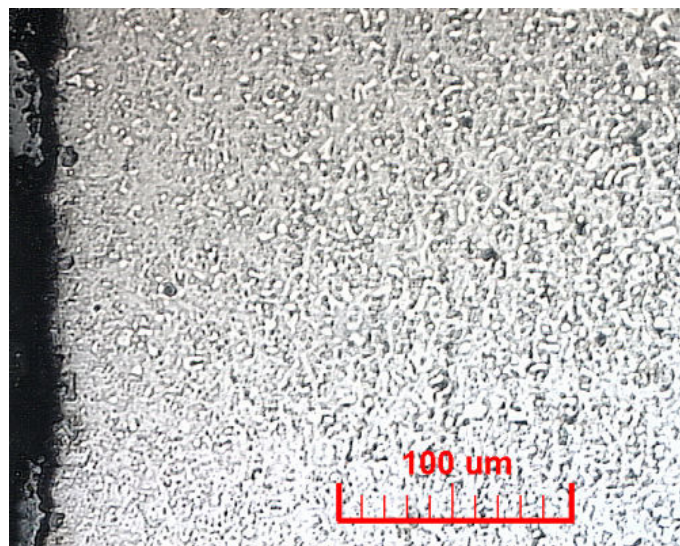
*Obr. 4p-10 Oduhličená vrstva, vzorek 2-1, ocel 19452, kyselina pikrová 4%, 200x*



*Obr. 4p-11 Oduhličená vrstva, povrchové trhliny, vzorek 3-1, ocel 19550, Nital 4%, 200x*



*Obr. 4p-12 Mezikrystalické zkrěhnutí, praskliny, vzorek 4-1, ocel 19571, Nital 4%, 200x*



*Obr. 4p-13 Správně tvářeno, vzorek 5-1, ocel 19573, kyselina pikrová, 200x*

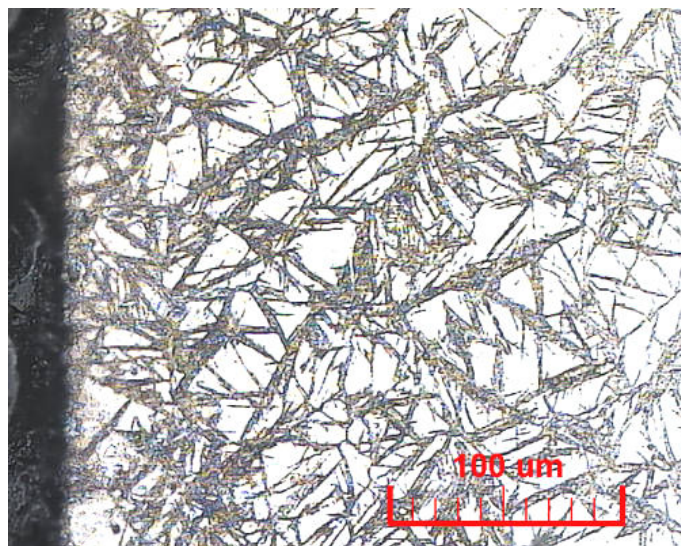


*Obr. 4p-14 Správně tvářeno, vzorek 6-1, ocel 19663, kyselina pikrová, 200x*

## **Příloha 5**

**Fotodokumentace pořízená po tepelném zpracování**

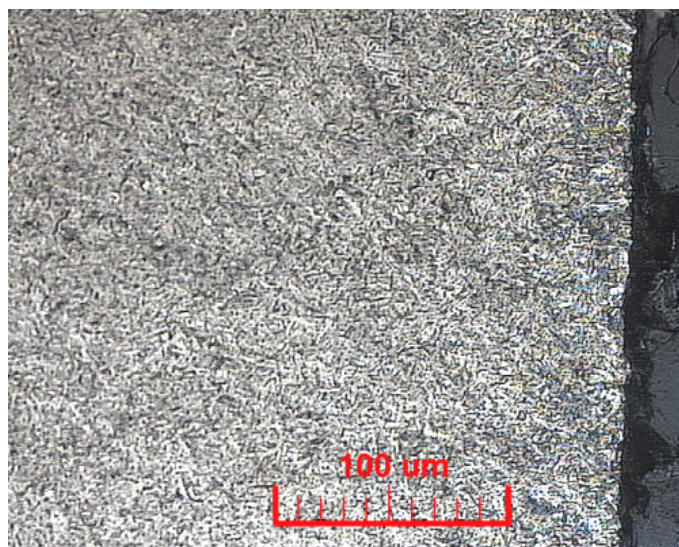




*Obr. 5p-1 Martenzit, správně kaleno, vzorek 1-2, ocel 19314, Nital 4%, 200x*

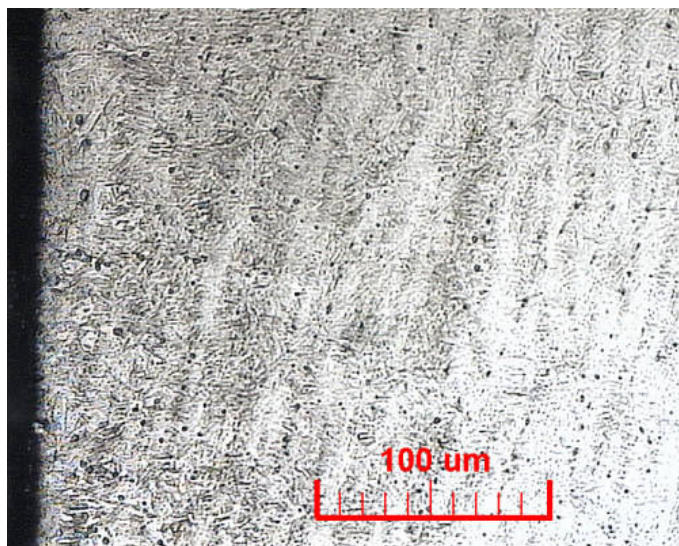


*Obr. 5p-2 Sorbitická struktura, vzorek 2-2, ocel 19452, Nital 4%, 200x*

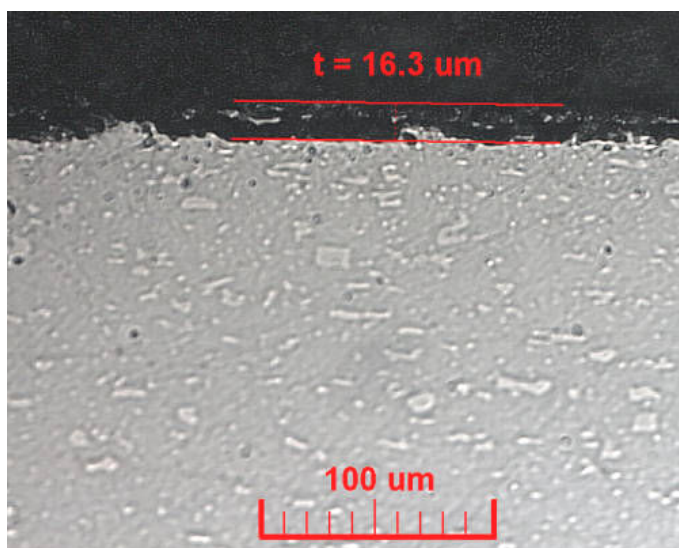


*Obr. 5p-3 Sorbitická struktura, vzorek 3-2, ocel 19550, Nital 4%, 200x*

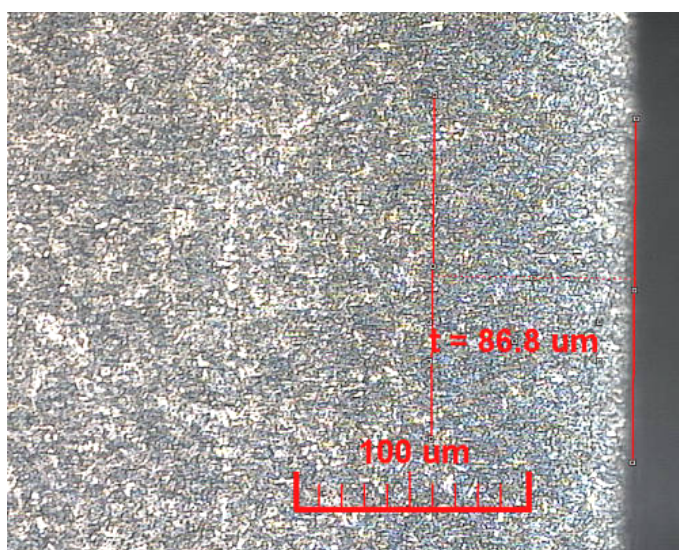




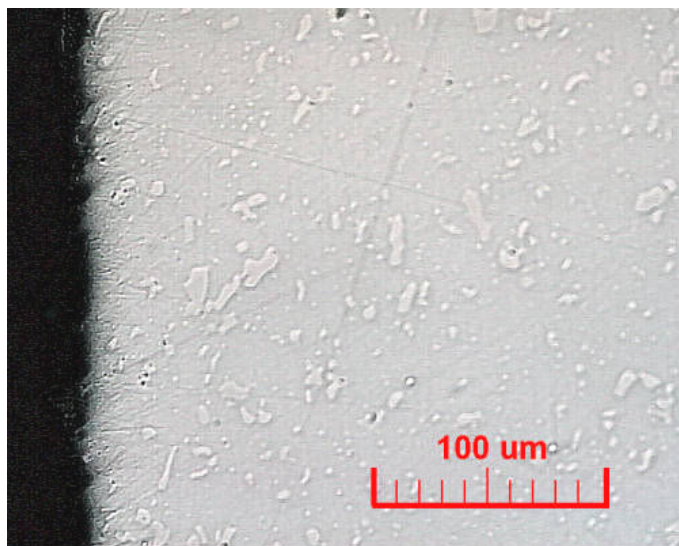
Obr. 5p-4 Karbidická řádkovitost, vzorek 4-2, ocel 19571, Nital 4%, 200x



Obr. 5p-5 Karbidická struktura, vzorek 5-2, ocel 19573, kyselina pikrová 4%, 200x



Obr. 5p-6 Transformovaný martenzit, vzorek 6-2, ocel 19663, Nital 4% , 200x



*Obr. 5p-7 Karbidická struktura, vzorek 7-2, ocel 19733, kyselina pikrová 4%, 200x*

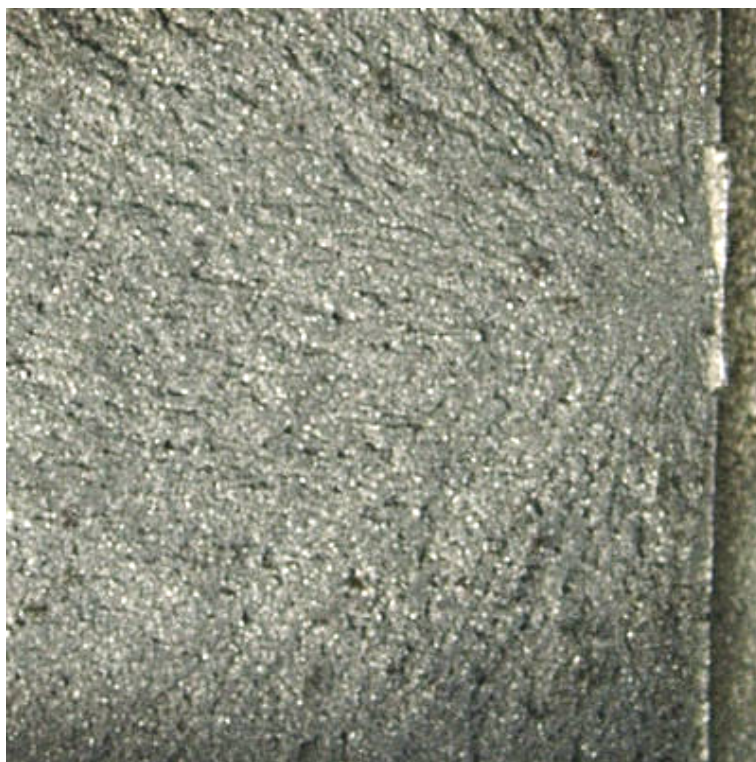
## **Příloha 6**

**Fotodokumentace lomových ploch  
po zkoušce vrubové houževnatosti  
a při fraktografické analýze**





*Obr. 6p-1 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 1-1, ocel 19314, 20x*



*Obr. 6p-2 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 2-1, ocel 19452, 20x*



*Obr. 6p-3 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 3-3, ocel 19550, 20x*



*Obr. 6p-4 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 4-3, ocel 19571, 20x*





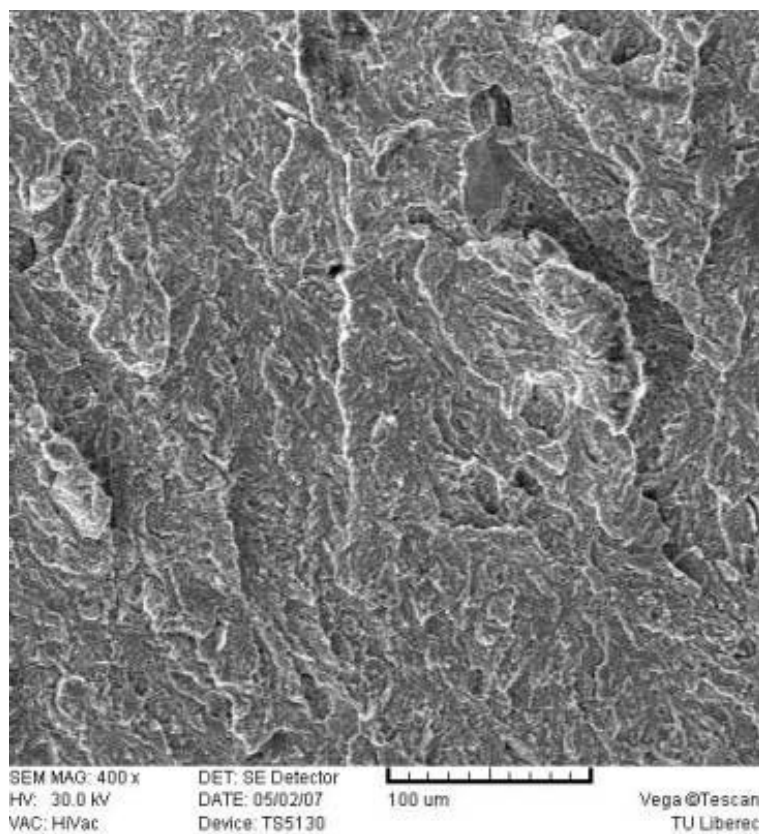
*Obr. 6p-5 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 5-1, ocel 19 573, 20x*



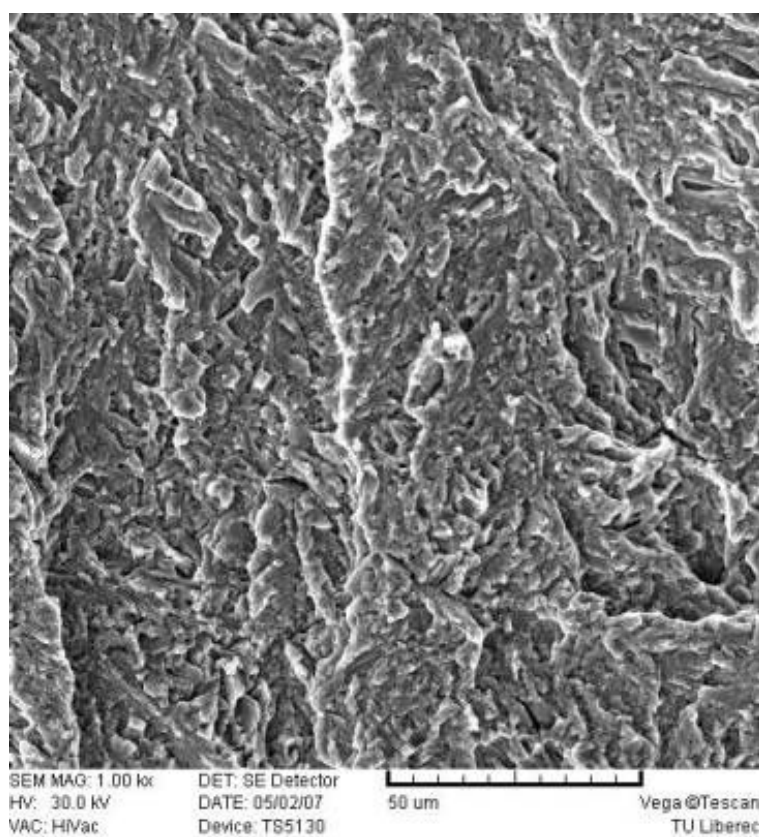
*Obr. 6p-6 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 6-1, ocel 19 663, 20x*



*Obr. 6p-7 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti,  
vzorek 7-2, ocel 19 733, 20x*

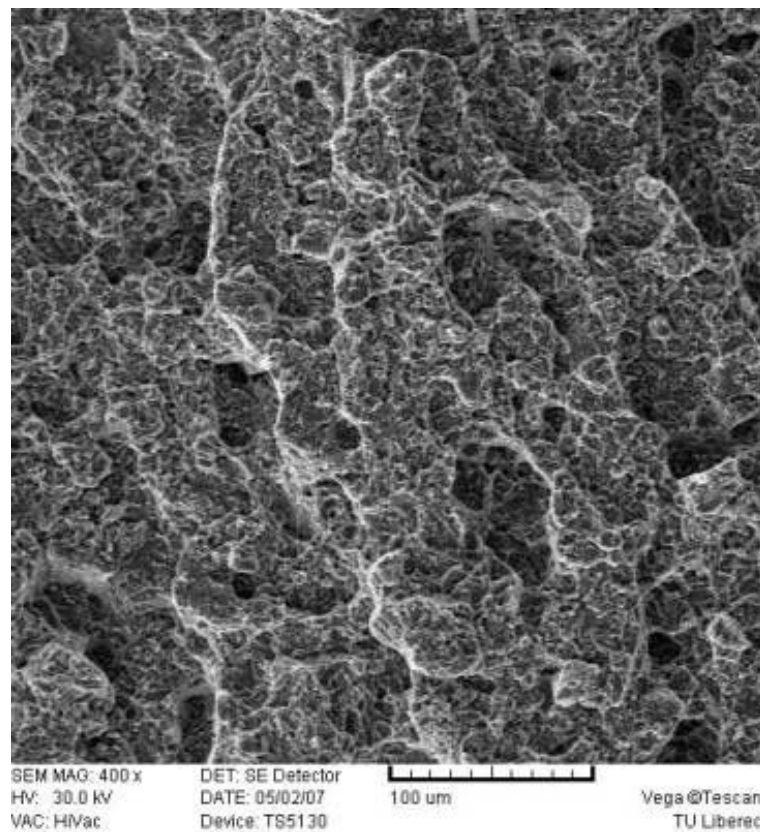


*Obr. 6p-8 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti, vzorek 4-3, ocel 19571, 400x*

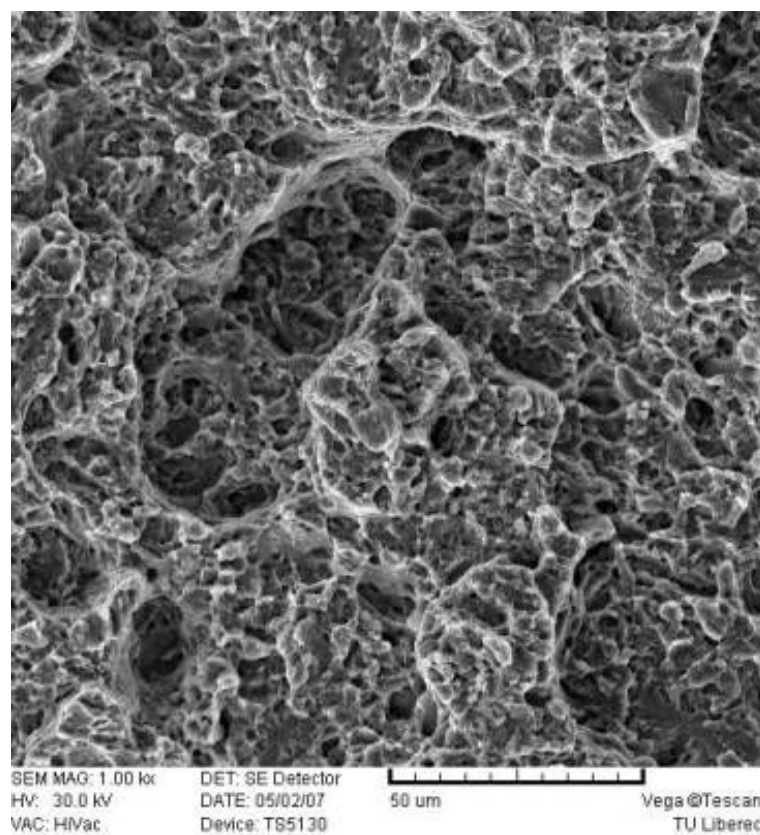


*Obr. 6p-9 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti, vzorek 4-3, ocel 19571, 1000x*





*Obr. 6p-10 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti, vzorek 3-3, ocel 19 550, 400x*

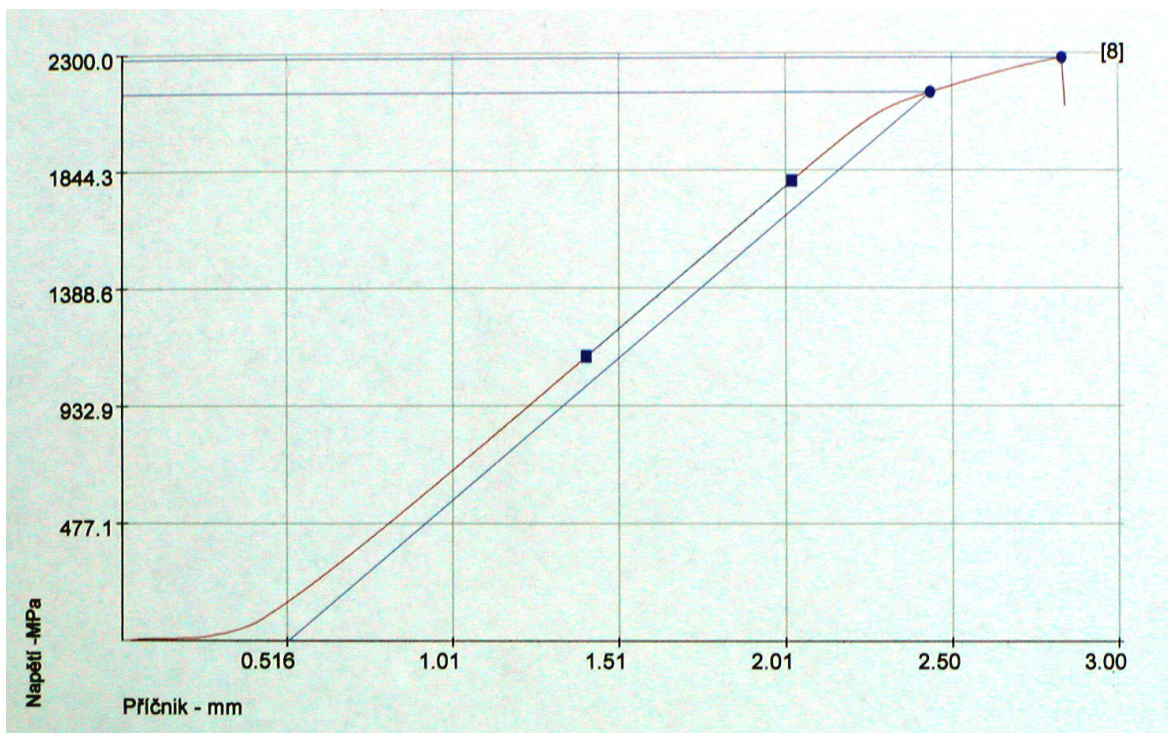


*Obr. 6p-11 Lomová plocha po zkoušce vrubové houževnatosti, vzorek 3-3, ocel 19 550, 1 000x*

## **Příloha 7**

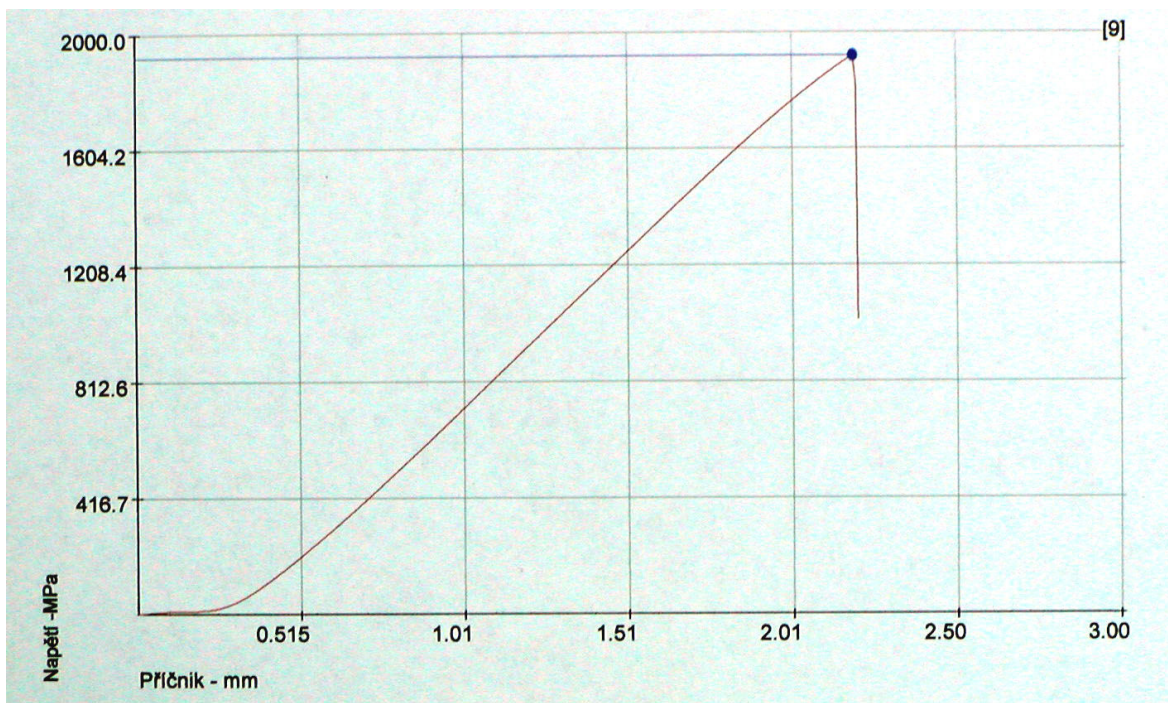
**Grafické znázornění zkoušky tahem**

### Nástrojová ocel 19 314 (ARNE)



Obr.: 7p-1 Diagram zkoušky tahem ocel 19314, kaleno, popuštěno

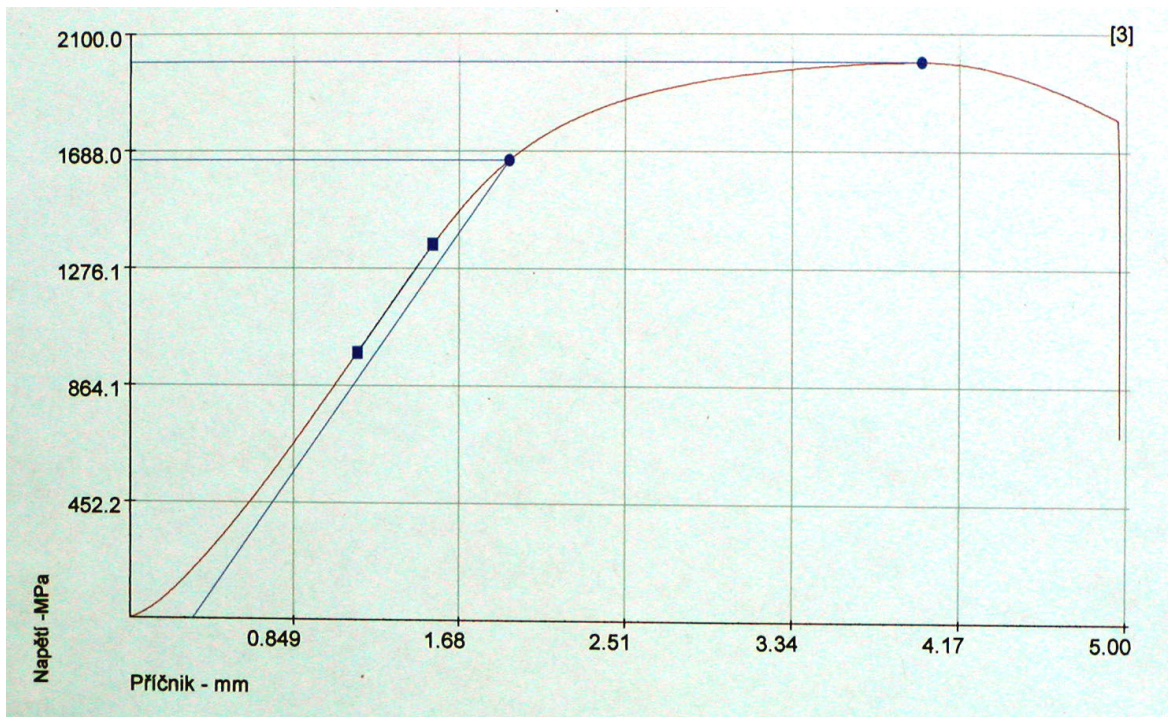
### Nástrojová ocel 19 452



Obr.: 7p-2 Diagram zkoušky tahem ocel 19452, kaleno, popuštěno

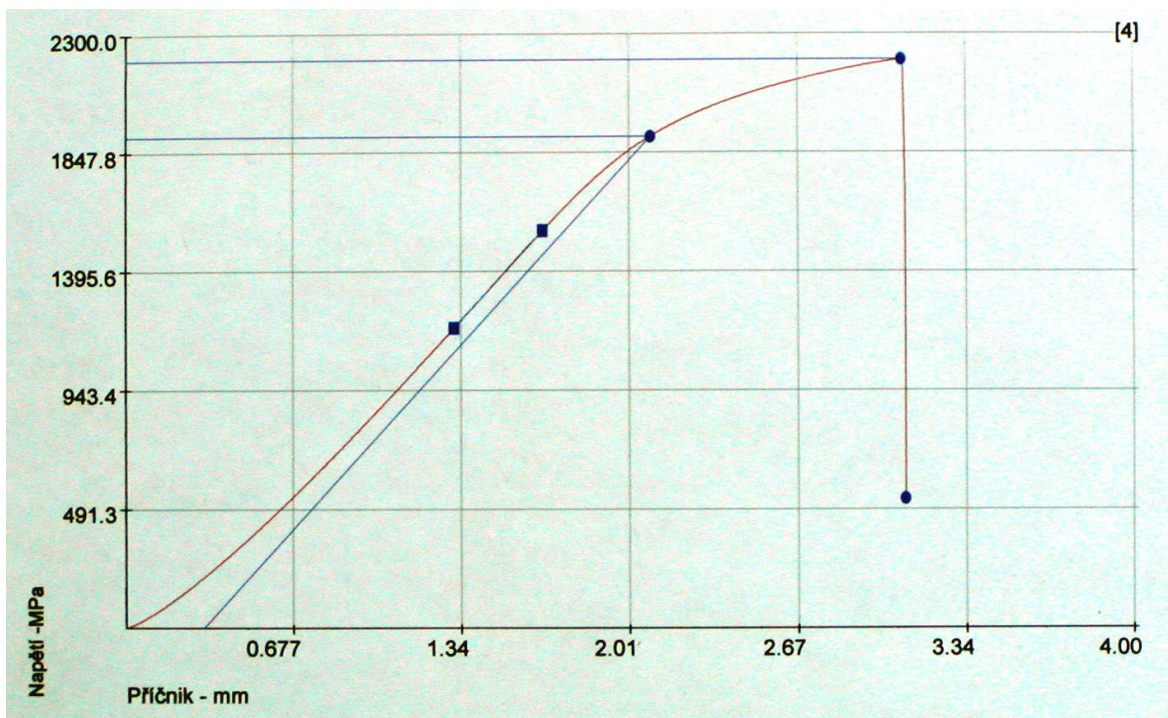


### Nástrojová ocel 19 550 (COMPAX SUPREME)



Obr.:7p-3 Diagram zkoušky tahem ocel 19550, kaleno, popuštěno

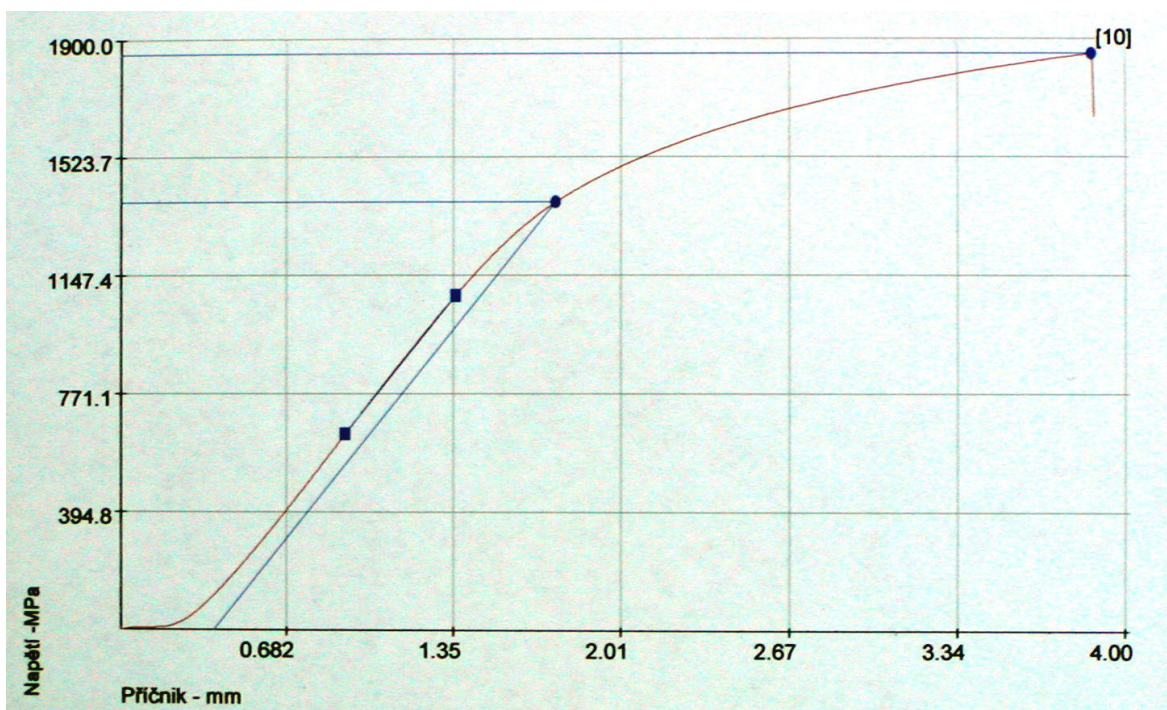
### Nástrojová ocel 19 571 (RIGOR)



Obr.:7p-4 Diagram zkoušky tahem ocel 19571, kaleno, popuštěno

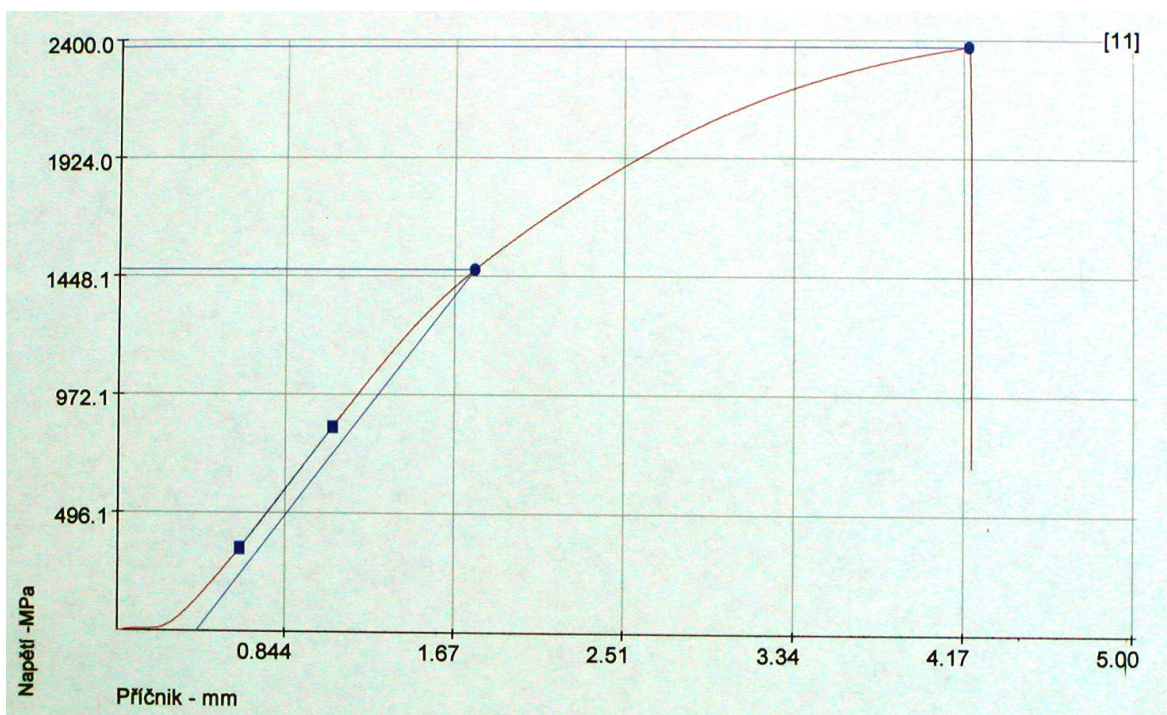


### Nástrojová ocel 19 573 (SVERKER 21)



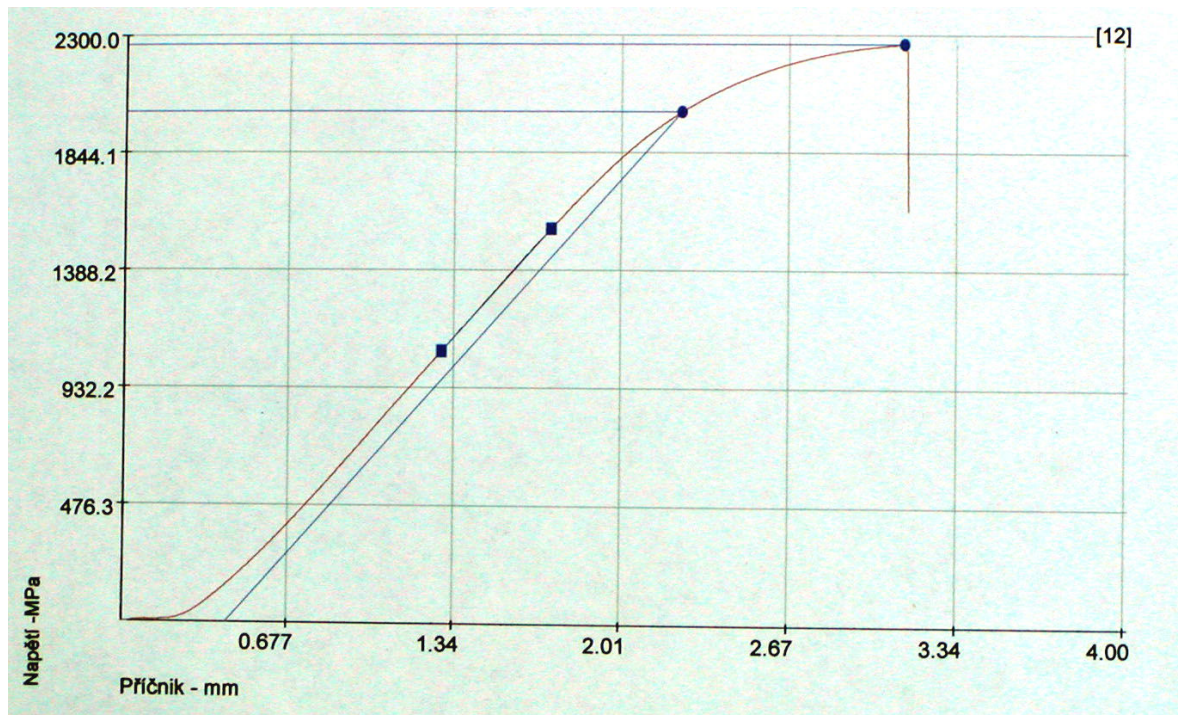
Obr.:7p-5 Diagram zkoušky tahem ocel 19573, kaleno, popuštěno

### Nástrojová ocel 19 663



Obr.:7p-6 Diagram zkoušky tahem ocel 19663, kaleno, popuštěno

## Nástrojová ocel 19 733



Obr.:7p-7 Diagram zkoušky tahem ocel 19733, kaleno, popuštěno

## **Příloha 8**

**Materiálové listy zkoušených ocelí  
a atesty dodavatelů**

## Nástrojová ocel 19 314 (ARNE)

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,90 až 1,00	1,00 až 1,30	0,20 až 0,40	0,40 až 0,60	0,40 až 0,60	0,60 až 0,95	0,15 až 0,30			0,030	0,035	190	62

## Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	750 až 800	Prohřát na 780°C, pomalu ochlazovat v peci rychlostí 15°C/hod až na 650°C, pak volně na vzduchu
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	Prohřát na 650°C, výdrž 2 hod. Pomalu ochladit v peci na 500°C a potom volně na vzduchu
Kalení	790 až 850	Ochlazovat v oleji nebo v solné lázni o teplotě asi 180-225°C, potom na vzduchu
Popouštění	100 až 400	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

## Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	64	62	58	52	56	38





Excellent Quality, Constant Quality  
UDDEHOLM ARNE BARS

VOP, B Löwenheim, B Lehtikolinen, E Andreasson

Hardness test

EN 10 204 - 2.2

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

10323557

34638/06

Order Date  
2006-09-21

Order/Our Order/Verkaufung

2417941-01

4500999683/

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyne

Levens m/Delivery Nr./Lieferung Nr.

10323557

Address/Adresse/Adressa

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyne

Extent of delivery

Item Pcs Kg

01 2 10

Dimension

20 mm

Heat No

184160

Chemical composition %

C Si Mn P S Cr W V

0.93 0.28 1.15 0.011 0.0060 0.51 0.54 0.10

Heat no 184160

Hardness HB: 205

Manufacture L605566 01 01

signed reports all information for functions with certificates and inspection  
Helyi is certified that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions  
Harmat and handling, that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions

UDDEHOLM TOOLING AB

TELEFON  
NAT 0563 170 00  
INT 46 563 170 00

TELEFAX

NAT 0563 174 60, 174 58  
INT 46 563 174 60, 174 58



UDDEHOLM Tooling AB



UDDEHOLM TOOLING AB

## Nástrojová ocel 19 452

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,55 až 0,65	0,60 až 0,90	1,50 až 1,90	0,70 až 1,00				0,35		0,030	0,035	max.230	58

## Tepelné zpracování oceli 19 452

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo v jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	700 až 750	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	830 až 860	Olej nebo teplá lázeň 180 až 220 °C
Popouštění	240 až 350	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	61	59	56	50	45	40

**TRINECKÉ ŽELEZÁRNY****Inspekční certifikát 3.1, EN 10204:2004**

Strana: 1 z 1

Dodavatel: TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s.  
Třinec - Staré Město, Průmyslová 1000, PSČ 739 70

IČO: 18050646

Kupující:				Přijemce:		<b>DOPORUČENÉ</b>		
"CZ TOP TRADE s.r.o."				"CZ TOP TRADE s.r.o."				
Ústí č.p. 190 755 01 Ústí Česká republika				Ústí č.p. 190 755 01 Ústí Česká republika				
Číslo zakázky a položky: 3300028398 / 000010			Číslo objednávky: 05 40242			Číslo atestu: 2006/01/003818		
Název výrobku		DTP	Značka oceli		TP/TDP	Kód zk.		
Rozměr		Dod. stav	Norma		Rozměrová norma			
Týče kruhové do 32		4293	19452		ČSN 420220.50 203			
20		30	ČSN 419452		ČSN 42 5510/1-A.11			
Č. vagonuauta	Ložní list	Tavba	Kruhy/Ks	Svarsky	Hmotnost			
1T17400	3306000556	T78073	0	2	3.636			
				Celkem:	3.636			
Chemická analýza tavby ( % )								
Tavba	Hmotnost	C	MN	SI	P	S	CR	NI
T78073	3636	0.61	0.76	1.72	0.018	0.013	0.86	0.11
E-ingot		N						
		0.0061						
Mechanické a další zkoušky								
OCEL JE VAKUOVANÁ								
UZ KONTROLA: dle EN 10228 tř.4 - č.prot.: 2787D								
<p>Rozsah uvedených údajů odpovídá předpisu zakázky.          Dodaný materiál odpovídá předpisu zakázky          Dodržena radioizotopická aktivita taveb. vzorku - max. 100 BQ/KG.</p>								

Dipl. ing. Josef Steffek  
 inspektor kvality  
 úřední podpis  
 úřední razítko



Odesílatel: TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., 739 70 Třinec

TJ - uvolňování a atesty dne: 16.01.2006

Potvrdil: Steffek Josef ing.

Datum: 17.01.2006

Funkce: referent TJ

### Nástrojová ocel 19 550 (COMPAX SUPREME)

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,50	0,7	0,3	3,2		1,5				0,035	0,035	200	61

### Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1080 až 850	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	800 až 830	Prodleva na teplotě min.2 hod, pak pomalu ochlazovat v peci rychlostí max. 50°/hod do 500°, pak na vzduchu
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	940 až 980	Ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni o teplotě 300 až 550 °C
Popouštění	150 až 600	Ochlazovat na vzduchu , stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

### Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	61	58	54	53	52	47



Kundendienst/Quality Control/Qualitätskontrolle  
Haupt: VQP, B Löwenheim, B Lehtikolinen, E Andreasson  
Vereinsprodukt/Verbandsprodukt

UDDEHOLM COMPAX SUPREME BARS

Annealed

Zustimmung/Regulierung/Anforderungen  
Hardness test

EN 10 204 - 2.2

Test report

Kvaliteetsintyg, Werkzeuge

Intyg av Cert No 24999999

Order Date  
2006-09-21

Order Our Order/Bestellungs  
2417941-03

Kunden/Bestellungsnummer  
BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949  
CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

Levanten m/Ordering No./Lieferung Nr  
10323856

34640/06

Address/Adresse  
BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949  
CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

Extent of delivery

Item Pcs Kg

03 1 1

Dimension

30 x 22 mm

Heat No

DV46153

Chemical composition %

C Si Mn P S Cr Ni Mo Cu

0.52 0.25 0.67 0.015 0.0026 3.25 0.11 1.50 0.06

Heat no DV46153

Hardness HB: 187

Manufacture 8005124 01 01

Härvidet i frågan är leveransen har tillhandat och kontrollerat enligt tillhandat

Hardy is certified that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions

Härvidt är bekräftat, att den leverans som har tillhandat och kontrollerat enligt tillhandat

UDDEHOLM TOOLING AB

S-683 85 MAGFORS

TELEFON

NAT 0563 170 00

INT + 46 563 170 00

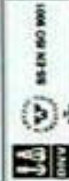
TELEFAX

NAT 0563 174 60, 174 58

INT + 46 563 174 60, 174 58

Officially issued by Werkstoffprüfstellen

*Handwritten signature*



### Nástrojová ocel 19 571 (RIGOR)

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,0	0,6	0,3	5,3		1,1	0,2			0,035	0,035	215	62

### Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1100 až 850	Pomalů ochlazovat v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	800 až 840	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	950 až 980	Ochladit v oleji nebo v lázni o teplotě 500 – 550°C
Popouštění	160 až 550	Ochlazovat na vzduchu ,stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

### Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	160	200	300	400	500	550
HRC	62	60	57	56	55	52



Kvalitetssikring  
VGP, B Lövenheim, B Lehtikoinen, E Andreasson

UDDEHOLM RIGOR BARS

Annealed

Hardness test

2006-09-21

Order Our Order/Werkstätt

2417941-02

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

2006-09-21

Order Our Order/Werkstätt

4500999683/

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

10323526

Address Address

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

34639/06

Delivery Address

BÖHLER UDDEHOLM CZ S.R.O.

U SILNICE 949

CZ-161 00 PRAHA 6 - Ruzyně

Extent of delivery  
Item Pcs Kg Dimension Heat No  
02 1 12 22 mm .N70916

Chemical composition % Heat no .N70916  
C Si Mn P S Cr Mo V  
0.96 0.29 0.48 0.016 0.001 4.97 0.94 0.16

Hardness HB: 219 Manufacture L606731 01 01

Hardest crystals all wear signs for blowholes such as temperature and shape  
Hardly is certified that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions  
Hardest wird bestätigt, dass die Lieferung gemäss Bestandsbedingungen hergestellt und abgenommen wurden ist

UDDEHOLM TOOLING AB  
S-663 85 HAGFORS

TELEFON  
NAT 0563 170 00  
INT + 46 563 170 00

TELEFAX  
NAT 0563 174 60, 174 58  
INT + 46 563 174 60, 174 58

UDDEHOLM  
S-663 85 HAGFORS

Ufforderskrädd By Werkstätt

UDDEHOLM  
S-663 85 HAGFORS

### Nástrojová ocel 19 573 (SVERKER 21)

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
1,55	0,4	0,3	11,8		0,8	0,8			0,030	0,035	210	63

### Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	830 až 860	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	1000 až 1080	Ochlazovat v oleji, na vzduchu nebo v solné lázni o teplotě asi 500 až 550 °C
Popouštění	100 až 550	Ochlazovat na vzduchu , stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

### Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	525	550	600
HRC	63	61	58	58	58	60	56	50







Assurance of Quality, Cost and On-Time Delivery

Vertrauen in Qualität, Kosten und Liefertreue

Vertrauen in Qualität, Kosten und Liefertreue

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

EN 10 204 - 2.2

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Test report

Kvalitetsintyg, Werkzeuge

Extent of delivery

Item

02

Pcs

5

Kg

48

Dimension

20 mm

Heat no

.M74508

Chemical composition %

C

Si

Mn

P

S

Cr

Mo

V

1.59

0.32

0.30

0.019

0.0007

11.80

0.72

0.73

Heat no

.M74508

Manufacture

L601363 01 01

Hardness HB: 229

Manufacture L601363 01 01

Härmet intygas att leveransen har tillverkat och kontrollerat enligt kvalitetsstandard

Herby is certified that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions

Hermet wird bestätigt, dass die Lieferung gemäss Bestellbedingungen hergestellt und abnahmegesprüft worden ist

UDDEHOLM TOOLING AB

S-683 85 HAGFORS

TELEFON

NAT 0563 170 00

INT + 46 563 170 00

TELEFAX

NAT 0563 174 60, 174 58

INT + 46 563 174 60, 174 58

NAT 0563 174 60, 174 58

INT + 46 563 174 60, 174 58

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

UDDEHOLM

## Nástrojová ocel 19 663

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P max.	S max.	HB	HRC
0,50 až 0,60	0,50 až 0,90	0,30 až 0,60	0,90 až 1,30		0,30 až 0,50		1,50 až 1,90		0,030	0,030	255	52

## Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1100 až 850	Pomalou ochlazovat v suchém popelu nebo jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	650 až 700	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	830 až 870	Ochladit v oleji asi na 100 °C
Popouštění	450 až 650	Ochlazovat na vzduchu ,stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

## Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	450	500	550	600
HRC	57	54	52	49	47	46	43	38

DODAVATEL: ICO= 18050646 INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT LIST: 1

TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, A.S.  
PRŮMYSLŮVA 1000  
739 70 TRINEC - STARE MESTO

ZAKAZKA.OBJ.,DP : V TEXTOVÉ CASTI  
SOUPIS LOZ.LIST: 0 49606204 001  
ADRESAT: \*\*\*\*\* DOPORUCENE ! \*\*

OBJEDNAVATEL:  
"CZ TOP TRADE s.r.o."

"CZ TOP TRADE s.r.o."  
Usti c.p. 190

Usti c.p. 190  
V S E T I N

755 01 V S E T I N

ID.CISLO HU.AT.: 2002/11/2617

CIS.ZAKAZKY	POL	CISLO OBJEDNAVKY	ROZD.	JKV5 HUTNI OZNACENI	DTP	ZKO
33 066769-6	001 02	40203		CSN-CIZI JAKOST ST.M. TP/NORMA TDP		
TYCE KRUHOVE DO 32		20.0	13211	55CRINIMOVVK	4225	203
DELKA/TOL.: 03-5.8			19663		420220.70	
C.VAGONU-AUTA LOZ.LIST		TAVBA KR/KS SV. HMOTN.		CELKEM		
VSA -34-38 - 33002290		70871	0	2	3330	3330
						3330*

TAVBA HMOTNOST	-C-	-MN-	-SI-	-P-	-S-	-CR-
70871 3330	0.550	0.69	0.41	0.024	0.018	1.04
	-NT-	-MO-	-V-			
	1.67	0.376	0.150			

DODANY MATERIÁL ODPOVÍDÁ PŘEOPISU ZAKAZKY.  
DODRŽENA RADIOIZOTOPICKÁ AKTIVITA TAVEB. VZORKU - MAX. 100 BQ/KG.

ODESLATEL: TZ A. S., 73970 TRINEC, TKU-UVOLNOVANI A ATESTY ONE: 15.11.02  
POTVRDIL: PRZYWARA JAN ING. - DATUM: 18.11.2002  
FUNKCE : VEDOUCI TKU

## Nástrojová ocel 19 733

Chemické složení v %												
C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Ni max.	Co	P Max.	S Max.	HB	HRC
0,52 až 0,62	0,15 až 0,40	0,80 až 1,20	0,90 až 1,20	1,70 až 2,20			0,35		0,030	0,035	230	56

## Tepelné zpracování oceli

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	1050 až 850	Pomalou ochlazovat na klidném vzduchu nebo lépe např. v suchém popelu nebo v jiném tepelně izolačním materiálu
Žíhání na měkko	720 až 750	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání ke snížení pnutí	600 až 650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	870 až 920	Olej nebo teplá lázeň 180 až 220 °C
Popouštění	100 až 400	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

## Popouštěcí teploty v závislosti na tvrdosti

°C	100	200	300	400	500	600
HRC	61	59	57	53	48	42

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

Datum

Podpis